Bagaimana Cara Bekerjanya ?

Alat Teknik Modern dalam Kehidupan Sehari-hari

Disajikan dalam ribuan jawaban teks dan gambar

Buku I

BAGAIMANA CARA BEKERJANYA?

ALAT TEKNIK MODERN DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI

Disajikan dalam Ribuan Jawaban Teks dan Gambar
Buku I

Disusun oleh Redaktion Naturwissenschaft und Technik des Bibliographischen Instituts

PUSTAKA SINAR HARAPAN
Jakarta, 1990

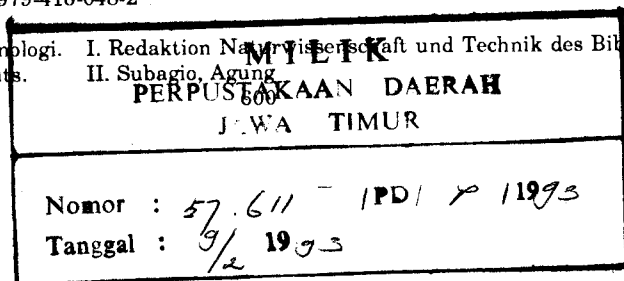
Perpustakaan Nasional: *Katalog Dalam Terbitan (KDT)*

BAGAIMANA CARA BEKERJANYA?: Alat teknik modern dalam kehidupan sehari-hari/disusun oleh Redaktion Naturwissenschaft und Technik des Bibliographischen Instituts; diterjemahkan oleh Agung Subagio — Cet. 1 — Jakarta: Pustaka Sinar Harapan, 1990

162 hlm.; ilus.; 21 cm

Judul asli: Wie Funktioniert das? – Die Technik im Leben von heute. Disajikan dalam ribuan jawaban teks dan gambar.

ISBN 979-416-048-2

1. Teknologi. I. Redaktion Naturwissenschaft und Technik des Bibliographischen Instituts. II. Subagio, Agung

600

BAGAIMANA CARA BEKERJANYA?
ALAT TEKNIK MODERN
DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI

Disusun oleh Redaktion Naturwissenschaft und Technik
des Bibliographischen Instituts
Diedit oleh Kurt Dieter Solf
89/UM/05

Judul asli: Wie Funktioniert das? – Die Technik im Leben von heute

Diterjemahkan oleh Agung Subagio, Dipl. Ing.
Gambar: Reproduksi dari buku aslinya
Desain sampul: Reproduksi dari buku aslinya

Cetakan pertama, 1990
Dicetak oleh CV. Muliasari

Daftar Isi

Pengantar Penerbit

Dalam kehidupan sehari-hari setiap saat dijumpai atau digunakan bermacam-macam peralatan atau benda hasil teknologi. Peralatan tersebut digunakan karena menyangkut erat dengan kebutuhan hidup setiap orang dalam masyarakat modern. Peralatan itu baik yang langsung digunakan sehari-hari, misalnya lampu neon, mobil, air bersih, barang cetakan, telepon, kunci pintu rumah, maupun yang tidak langsung menyangkut kebutuhan sehari-hari, misalnya reaktor nuklir, roket, satelit, radar dan masih banyak lagi peralatan canggih hasil teknologi baru.

Bagi orang yang suka berpikir, menggunakan atau menghadapi peralatan tersebut, dalam pikirannya pasti terlintas pertanyaan: Mengapa bisa begitu? Bagaimana cara bekerjanya? Buku ini memberi jawaban terhadap pertanyaan tersebut dan sekaligus menambah pengetahuan teknik bagi para pembacanya.

Buku aslinya dalam bahasa Jerman berjudul *Wie funktioniert das? Die Technik im Leben von heute*, membahas cara bekerja 220 kasus teknik fisika dan kimia disertai banyak gambar yang telah diterjemahkan ke dalam 12 bahasa. Buku terjemahan dalam bahasa Indonesia ini merupakan jilid pertama dari enam jilid yang direncanakan. Dalam jilid pertama ini dibahas antara lain mengenai cara bekerja katrol, lensa, baterei, sinar laser, reaktor inti (nuklir), analisis kimia dan sebagainya.

Mudah-mudahan buku ini bermanfaat bagi para pelajar dan mahasiswa untuk melancarkan studinya. Bagi masyarakat pada umumnya buku ini berguna untuk membuka "tabir rahasia" peralatan teknik di lingkungan hidup sehari-hari.

Anggota Redaksi yang menyusun buku ini:

Oberbaurat Prof. Walter Astheimer, Brühl
Dr.-Ing. Uwe Bongers, Neusäb
Prof. Dr.-Ing Georg Bosse, Darmstadt
Dipl.-Ing. H.J. Fischer, Darmstadt
Johanna Förster, Mannheim.
Dr. Ekkehard, Hundt, Mannheim
Dr. Klaus-Friedrich Klein, Mannheim
Ing. Horst W. Köhler, Augsburg
Alfons Kordecki, Eckernförde
Hans-Heinrich Müller, Mannheim
Klaus Thome, Mannheim
Ministerialrat Dr.-Ing. Walter Wolf Mörfelden-Walldorf

Pendahuluan

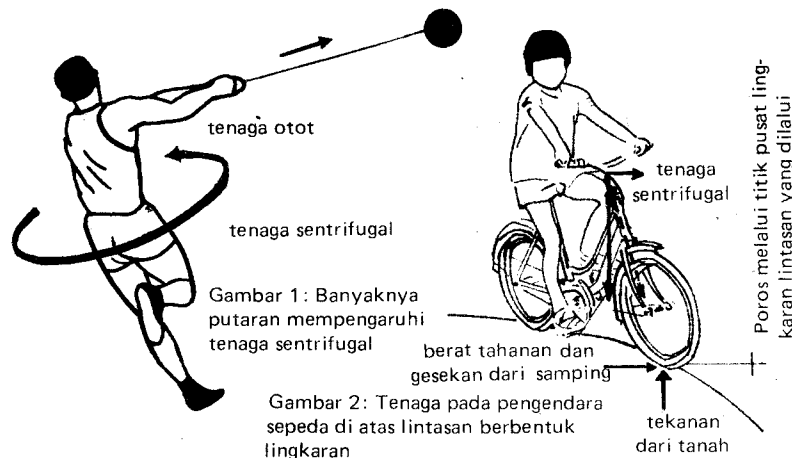
Pertanyaan "Bagaimana cara bekerjanya yang sesungguhnya?" dihadapkan setiap hari kepada kita, terutama di kala kita harus menangani alat teknik atau ingin mengetahui tentang alat tersebut. Hal ini perlu diperhatikan, bila kita akan membeli alat semacam itu. Lebih mendesak lagi pertanyaan ini, bila menyangkut dampak yang luas akibat teknologi masa kini, yang untuk penentuannya akhir-akhir ini setiap warga negara secara politis ikut terpanggil, misalnya mengenai tenaga inti (nuklir). Namun cara kerja alat teknik pada umumnya tidak mudah dimengerti untuk kaum awam, tanpa pengetahuan khusus tentang bidang keahlian tertentu. Hanya sayang pengetahuan teknik bukanlah milik umum, bukan hanya menyangkut barang yang kita gunakan sehari-hari, tetapi juga yang menyangkut teknologi baru. Buku ini dapat memberikan jasa yang berharga dengan memberi penjelasan yang gamblang disertai peragaan yang jelas dan mudah dimengerti tentang barang teknik tanpa beban yang bersifat teori yang tidak perlu, dan tanpa dibutuhkan pengetahuan sebelumnya. Dengan penyajian tulisan dan gambar pada halaman yang berdekatan, berbagai persoalan rumit dapat lebih mudah dipahami.

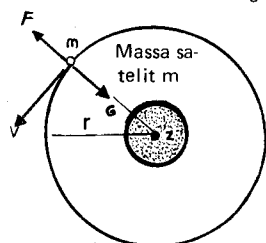
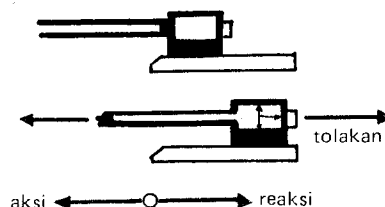
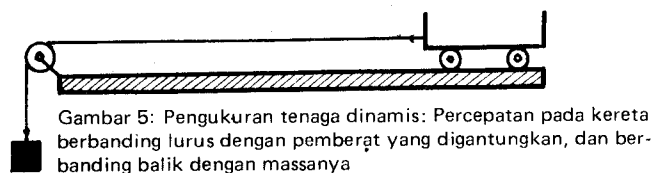
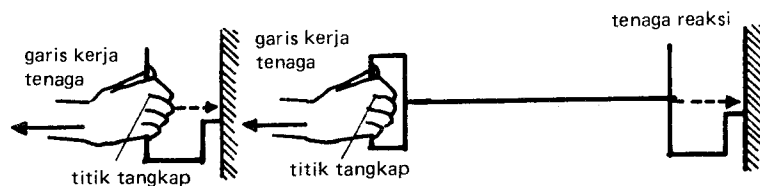
Cetakan baru ini telah diterjemahkan ke dalam 12 bahasa, suatu keberhasilan di seluruh dunia, menyajikan gambaran teknologi yang dicapai di masa sekarang. Dalam semua penyajiannya buku ini memperhatikan sistem satuan yang diharuskan undang-undang dan bukan saja memperkaya secara mendalam pengetahuan kaum awam, melainkan juga para teknisi.

Mannheim, musim gugur 1978.

DASAR-DASAR FISIKA

1. Tenaga, Massa, Impuls, Momen Putar (I)

Di alam dan dalam dunia teknik, tempat benda bergerak bebas, mengubah keadaan geraknya (dipercepat atau diperlambat) dan benda yang dipegang/ditahan mengalami perubahan bentuk, penyebabnya adalah pengaruh atau kerja suatu tenaga fisika (alam). Menurut pengalaman, kedua jenis kerja itu dapat diperoleh dengan tenaga otot manusia. Ingat saja misalnya kepada pelemparan bola, pembelahan kayu dengan kapak, pemberian bentuk kepada benda logam karena penempaan. Pada tenaga otot sudah dapat juga ditentukan suatu ciri dari setiap tenaga, yaitu bahwa ia merupakan suatu besaran fisika yang vektoral (terarah): gambarannya yang tegas, di samping keterangan tentang besar kekuatannya, selalu memerlukan keterangan mengenai arah bekerjanya, dan letak *garis kerjanya.* Ukuran untuk kekuatan suatu tenaga $\vec{F}$ adalah hasil perkalian dari percepatan $\vec{a}$, yang diberikannya kepada suatu benda dengan massa m, dengan massa itu sendiri: $\vec{F} = m.\vec{a}$. Dalam pada itu panah di atas tanda fisika menjelaskan bahwa di sini kita berhadapan dengan besaran vektoral (vektor). Cetak setengah tebal dari suatu tanda mempunyai arti yang sama (gambar 3). *Percepatan,* yaitu perubahan sementara dari kecepatan (ini juga melukiskan suatu besaran fisika yang terarah), pada umumnya berlangsung searah dengan tenaga. Dalam pada itu diumpamakan, bahwa massanya dapat dianggap tetap, hal mana mungkin pada kecepatan kecil, jika dibandingkan dengan kecepatan cahaya. Jadi makin besar massa suatu benda, makin kecil percepatan yang diberikan oleh tenaga dengan kekuatan tertentu. Oleh karena massa itu dapat dianggap sebagai ukuran untuk tahanan suatu benda terhadap perubahan dari keadaan geraknya, jadi untuk *kelembamannya.* Perbandingan dari tenaga dan percepatan memungkinkan pengukuran tenaga secara dinamis, yaitu tenaga itu diukur secara membandingkan percepatan yang ditimbulkan pada massa yang sama. Suatu

Gambar 1: Banyaknya putaran mempengaruhi tenaga sentrifugal

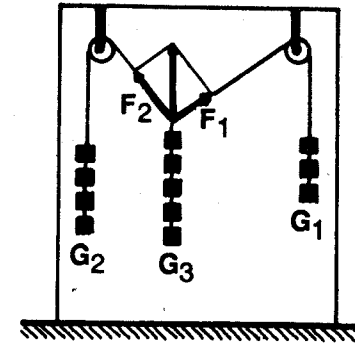
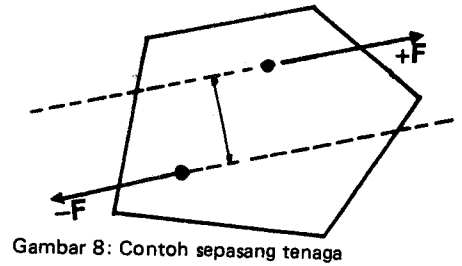
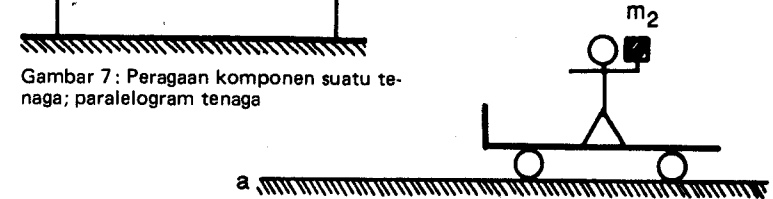
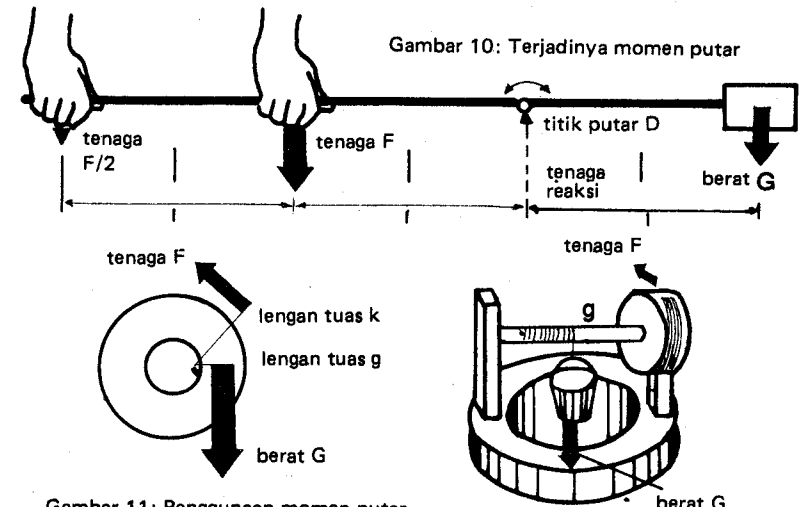
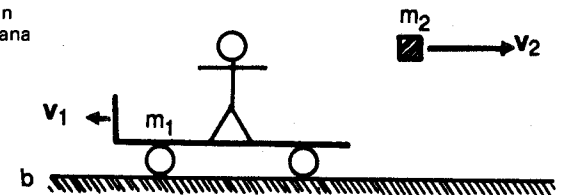
Gambar 2: Tenaga pada pengendara sepeda di atas lintasan berbentuk lingkaran

Gambar 3: Tenaga sentrifugal yang mempengaruhi lintasan satelit

Gambar 4: Asas aksi dan reaksi

Gambar 5: Pengukuran tenaga dinamis: Percepatan pada kereta berbanding lurus dengan pemberat yang digantungkan, dan berbanding balik dengan massanya

Gambar 6: Titik tangkap suatu tenaga dapat digeser dalam arah garis kerjanya

definisi yang tepat mengenai tenaga diberikan oleh hukum dasar Newton: Tenaga adalah penyebab dari perubahan sementara (kesimpulan berdasarkan waktu t) dari impuls $\vec{p}$ dari suatu benda dan sama dengan perubahan ini: $\vec{F} = d\vec{p}/dt$. Impuls suatu benda dalam pada itu dapat diketahui dari produk massanya m dengan kecepatannya v : $\vec{p} = m.\vec{v}$.

Suatu tenaga pada umumnya bertumpu di suatu titik tertentu pada suatu benda, yaitu *titik tangkap (tumpu)*. Namun hanya pada perubahan bentuk pada suatu benda kedudukan titik tangkap pada garis kerja menjadi persoalan. Pada waktu mengenakan tenaga pada suatu benda padat (dalam praktik semua benda yang perubahan bentuknya dapat diabaikan karena kecilnya, dapat dianggap benda padat), titik tangkap itu dapat digeser-geser sesuka hati sepanjang garis kerja, tanpa menimbulkan perubahan pengaruh tenaga terhadap benda itu, maksudnya tanpa mengganggu keseimbangan dengan tenaga lainnya yang ada atau mengubah percepatan yang ditimbulkan tenaga itu terhadap benda padat itu. Dalam gambar 6 hal itu diperlihatkan sedemikian rupa, sehingga tenaga otot, secara langsung atau hanya pada suatu titik yang terletak searah dengan kerja tenaga itu, dapat menimbulkan akibat yang sama terhadap cantolan pada dinding.

Tenaga, Massa, Impuls, Momen Putar (II)

Penyusunan dua tenaga $\vec{F}_1$ dan $\vec{F}_2$ yang dikenakan pada suatu benda menjadi satu tenaga seperti hasilnya (*resultant* atau *tenaga seluruhnya/bersama*) $\vec{F}$ dan penguraian suatu tenaga F menjadi komponen (yakni tenaga bagian $\vec{F}_1$ dan $\vec{F}_2$ yang masing-masing ditentukan arahnya), dilakukan seperti semua besaran terarah (vektor) dengan pertolongan yang disebut *paralelogram tenaga*: kedua tenaga yang harus digabungkan, digeserkan melalui garis kerjanya sedemikian rupa, sehingga titik rangkap mereka berimpitan; dengan demikian mereka merupakan dua sisi dari sebuah paralelogram, yang diagonalnya lebih panjang (diberi tanda arah) adalah sama dengan jumlah $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}$, sedang diagonalnya yang lebih pendek sama dengan selisih $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ dari kedua tenaga itu. Dapat juga dilakukan dengan cara sedemikian rupa, sehingga kedua tenaga itu digandengkan (ujung vektor tenaga yang satu merupakan titik kaki tenaga yang lain). Jika tenaga itu lebih banyak lagi yang bertitik tangkap yang sama dengan cara demikian dapat diperoleh sebagai hasil tenaga gabungannya suatu *segi banyak tenaga (poligon tenaga)*. Teristimewa n tenaga $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots \vec{F}_n$ akan menjadi seimbang, jika bagi tenaga tersebut berlaku: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = 0$, yang berarti resultantenya menjadi = 0. Dengan demikian setiap tenaga yang bertitik tangkap pada suatu benda dengan tenaga reaksi yang ditimbulkannya dan yang sama besarnya, namun berlawanan arahnya, akan seimbang. Dua tenaga yang sama besarnya dan yang berlawanan arah dan yang garis kerjanya tidak berimpitan, sebaliknya tidak dapat digabung menjadi suatu resultante; tenaga tersebut disebut *sepasang tenaga*, yang pada suatu benda kaku menimbulkan *momen putar* dan dapat menyebabkan benda tersebut berputar pada suatu titik putar tertentu.

Tenaga terdapat di segala bidang fisika. Jenis yang terpenting adalah: 1. berbagai *tenaga gesek* (lihat hal gesekan dan seterusnya); 2. *tenaga lenting/lentur* (elastis) yang bekerja di dalam suatu benda

Gambar 7: Peragaan komponen suatu tenaga; paralelogram tenaga

Gambar 8: Contoh sepasang tenaga

Gambar 9: Percobaan tolakan balik sederhana ke lompatan impuls

Gambar 10: Terjadinya momen putar

Gambar 11: Penggunaan momen putar pada katrol tali

sebagai tenaga reaksi terhadap perubahan bentuk benda; 3. *tenaga gravitasi* (gaya berat), yang menyebabkan senantiasa adanya daya tarik-menarik antara semua benda. Gaya berat (atau gravitasi) bumi misalnya menyebabkan benda jatuh secara bebas, yang dengan mengabaikan hambatan oleh udara berlangsung dengan kecepatan jatuh g = 9,81 m/detik^2, untuk lintasan lengkung parabol dari bola yang dilemparkan atau peluru yang ditembakkan, untuk gerakan bulan dan satelit buatan (benda ruang angkasa) mengitari bumi, akhirnya juga untuk berat benda $G = m \cdot g$; 4. *tenaga Coulomb* atau *tenaga elektrostatika*, dengan mana muatan listrik saling tarik-menarik atau tolak-menolak; 5. *tenaga magneto statika*, yang bekerja antara magnet yang satu dengan yang lain; 6. berbagai tenaga, yang di samping tenaga elektro statika melakukan peranan yang amat penting di sekitar molekul, atom dan inti atom (nuklir) dan mengakibatkan tergabungnya atom menjadi molekul dan kristal atau (sebagai tenaga inti) menyebabkan terikatnya inti atom menjadi satu.

Sebagai satuan ukuran tenaga dalam fisika terutama digunakan Newton (N). 1N adalah sama dengan tenaga yang memberikan kepada suatu benda dengan massa 1 kg akselerasi sebesar: 1m/detik^2 :1N = 1 kg. m/detik^2. Satuan ukuran yang tidak dipakai lagi adalah: pond (p) dan dyne (dyne):

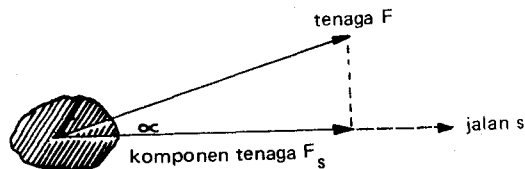
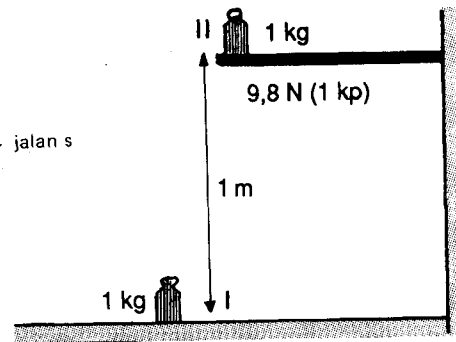
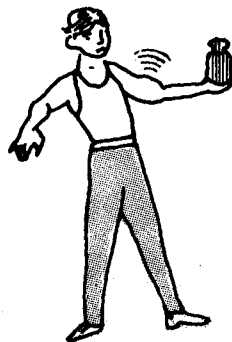
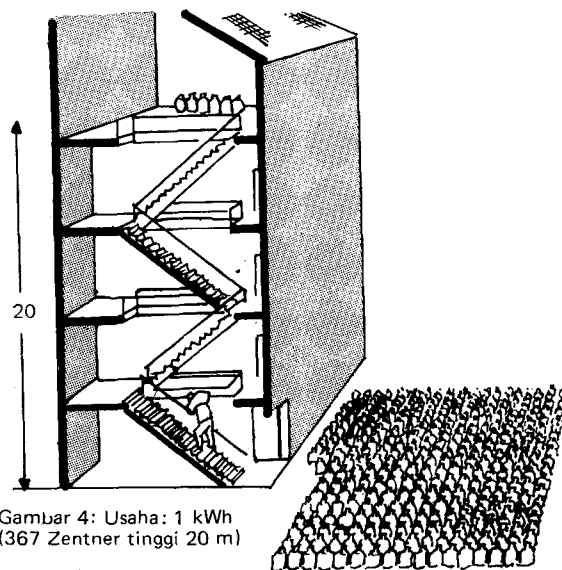
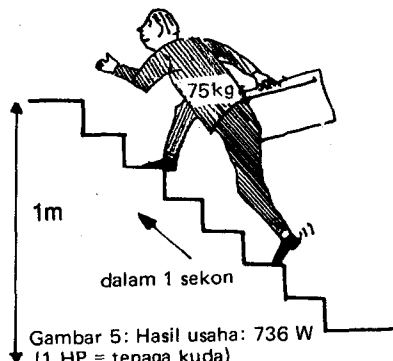
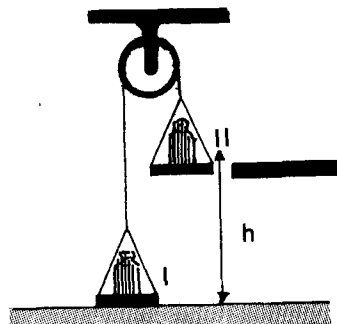
1 p = 9,80665.10^{-3} N atau kadang-kadang.

1 dyne = 1g. cm/detik^2 = 1/100.000 N.

2. Usaha (Kerja), Hasil Usaha (Prestasi), Energi (I)

Jika suatu benda digeserkan sepanjang suatu jarak tertentu dengan melawan suatu tenaga yang dikenakan padanya, maka dikatakan bahwa benda itu telah melakukan *usaha (kerja)*. Dalam ilmu fisika usaha itu dirumuskan sebagai hasil perkalian dari jalan atau jarak yang ditempuh s dan besarnya komponen tenaga $F_s = F.\cos\alpha$ dalam arah jalan: $A = F_s \cdot s$, yang cos α-nya adalah cosinus sudut α antara arah tenaga dan arah jalan. Dalam perumusan yang disederhanakan ini, dimisalkan, bahwa atenaga yang diandaikan lurus itu selalu konstan (gambar 1). Jika suatu massa seberat 1 kg diangkat setinggi 1 meter, maka telah dilakukan usaha sebanyak 9,0665 Nm (Newtonmeter; dahulu: 1 kpm, yaitu kilopondmeter atau meterkilopond). Pada usaha pengangkatan melawan gaya berat (gambar 2). Menurut definisi di atas, pengertian fisika mengenai usaha tidak sepenuhnya sama dengan pengertian yang lazim dikenal dalam kehidupan sehari-hari atau dalam perekonomian rakyat. Seorang yang untuk beberapa waktu lamanya memegang beban berat dengan tangan lurus ke depan (gambar 3) akan merasakan hal ini sebagai kerja keras, sebagai *usaha*, namun dalam pengertian fisika dalam hal ini tidak ada usaha yang dilakukan.

Sebagai satuan ukuran usaha selain Newtonmeter terutama digunakan kilowattjam (kWh) atau juga wattsekon (Ws) dan Joule (J). Untuk memperhitungkannya berlaku rumus: 1 kWh = 3,6·10^6 Ws dan demikian pula 1 J = 1.Nm = 1 Ws. Dari hubungan yang pertama dapat dilihat, betapa hebatnya persediaan usaha yang dihantarkan melalui aliran listrik ke rumah kita, dengan uang "sedikit". Dengan 1 kWh dapat diangkat 367098 kg setinggi satu meter atau 367 *Zentner* (1 Zentner = 50 kg) setinggi 20 m (gambar 4).

Makin kecil jangka waktu suatu usaha dilakukan, makin besar *hasil usahanya* (P atau prestasi). Hasil tersebut dalam fisika dirumuskan sebagai hasil-bagi dari usaha A dengan waktu yang digunakan t = p = A/t. Juga rumus ini agak disederhanakan: Diumpama-

Gambar 1 : Usaha $A = F_s \cdot s$

Gambar 2: Usaha untuk mengangkat 9,8 Nm (1 kpm)

Gambar 3: Tidak ada usaha (dalam pengertian fisika)

Gambar 4: Usaha: 1 kWh (367 Zentner tinggi 20 m)

Gambar 5: Hasil usaha: 736 W (1 HP = tenaga kuda)

Gambar 6: Energi potensial ("persediaan usaha") di tempat II.

kan, bahwa usaha A selama waktu *t* itu konstan. Jika batu timbangan dalam gambar 2 itu diangkat dalam 1 sekon (1s) setinggi 1 meter, maka *hasil usahanya* (karya prestasinya) berjumlah 9,80665 Nm/s atau 9,80665 W. Selanjutnya satuan ukuran hasil usaha adalah Watt (W) dan kilowatt (kW): 1 kW = 1.000 W. Hasil usaha sebesar 735,49875 W dalam dunia teknik disebut satu tenaga kuda (HP). Jika seseorang yang beratnya 75 kg naik tangga dengan berlari, sehingga ia dalam setiap detik (sekon) mencapai ketinggian 1 m (kira-kira sama dengan 6 hingga 7 anak tangga), maka ia telah menghasilkan karya kira-kira 1 tenaga kuda (gambar 5).

Untuk mengangkat batu timbangan (gambar 2) telah digunakan usaha tertentu, yang sekarang karena letaknya telah lebih tinggi, dihimpun di dalamnya sebagai energi (daya usaha). Dikatakan bahwa benda itu pada kedudukan II mempunyai *energi potensial* yang lebih tinggi (energi dikarenakan letak) daripada di I. Energi potensial (E_{pot}) yang dimiliki benda berbobot G yang diangkat pada ketinggian h, adalah sama dengan usaha, yang diperlukan untuk mengangkatnya, jadi: $E_{pot} = G \cdot h$. Jika ia kembali ke kedudukan I, maka ia dalam keadaan yang sempurna dapat melakukan usaha yang sama seperti yang dapat dilakukannya sebelumnya. Hal ini merupakan keadaan khusus dari dalil *kekekalan energi.* Jadi batu timbangan dalam gambar 2 misalnya dapat mengangkat sebuah batu timbangan lain yang sama beratnya pada ketinggian yang sama h dengan melalui sebuah kerek (gambar 6).

Jika sebuah benda yang bermassa m dari keadaan diam digerakkan dengan kecepatan tertentu v, maka dengan demikian telah dilakukan usaha pula (melawan daya hambatan atau tenaga kelambanan). Oleh karenanya di dalamnya juga telah terhimpun sejumlah persediaan daya usaha, yang disebut *energi kinetis* atau $E_{kin.} = \frac{1}{2}mv^2$. Dari sini terlihat dengan jelas, bahwa jika kecepatan kendaraan bermotor menjadi dua kali lipat, maka beratnya menjadi empat kali lipat pada suatu tabrakan.

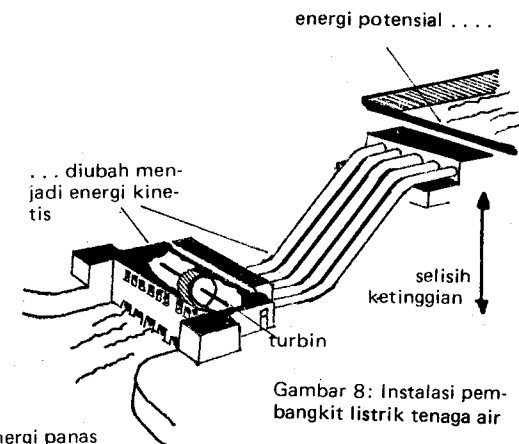
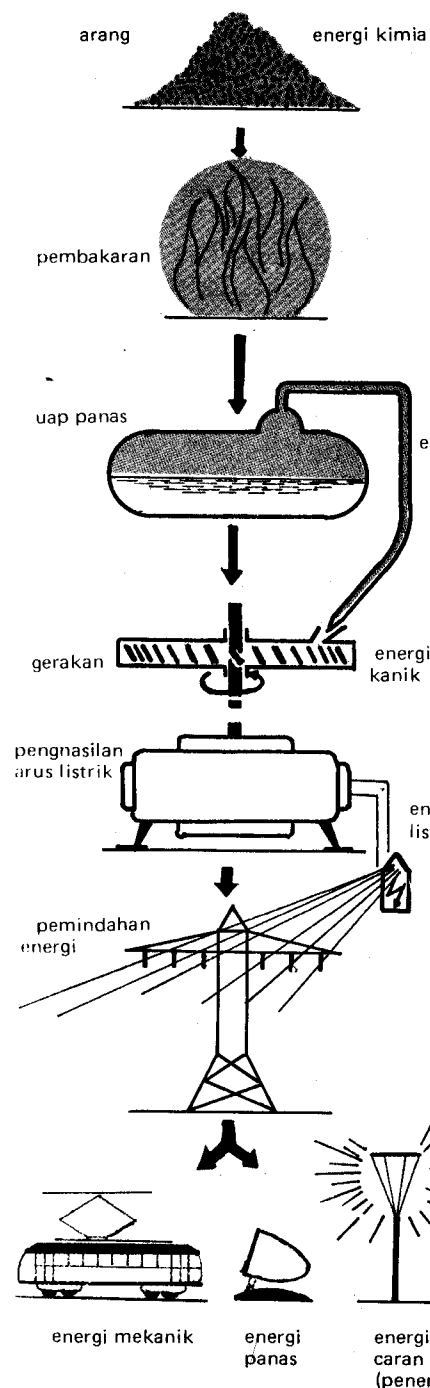
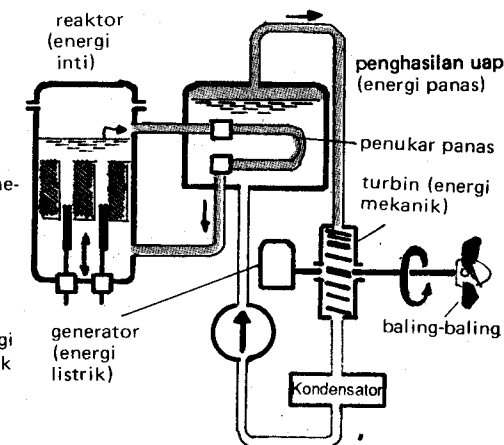
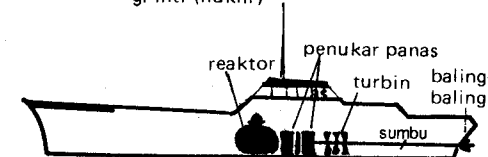
Satuan-satuan ukuran yang tidak digunakan lagi untuk energi dan usaha, selain meterkilopond (mkp atau kpm) adalah erg dan kalori (cal):

$$1 \text{ erg} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ J dan } 1 \text{ cal} = 4{,}1868 \text{ J.}$$

Usaha, Hasil Usaha (Prestasi), Energi (II)

Di samping bentuk energi mekanis, yang termasuk di dalamnya energi kinetis dan potensial, terdapat beberapa lainnya: energi panas, energi listrik, energi kimia, energi inti (nuklir) dan lain-lain. Besarnya energi di sini pun dihitung dengan usaha yang dapat dilakukan dengan energi tersebut. Dahulu pada berbagai bentuk digunakan juga satuan ukuran khusus: kesemuanya itu mempunyai perbandingan tetap terhadap satuan yang telah disebut terdahulu: Joule dan kWh. Energi panas masih diukur dengan kalori (cal) atau kilokalori (kcal): 1 cal adalah jumlah panas (energi panas) yang dibutuhkan, untuk memanaskan 1 gram air pada tekanan udara normal dari 14,5°C menjadi 15,5°C. Perhitungan: 1 cal = 4,1855 J = 0,42680 mkp (ekuivalen panas). Energi listrik diukur dengan kilowattjam (kWh). Dalam bidang peratoman sebagai satuan energi lazim digunakan elektrovolt (eV). 1 eV adalah energi yang diperoleh satu elektron dengan melalui suatu tegangan listrik sebesar 1 Volt secara bebas. Satuan ini, jika dibandingkan dengan satuan yang sudah disebut hingga sekarang adalah kecil; perhitungannya adalah sebagai berikut: 1 eV = $4{,}45 . 10^{-26}$ kWh (10^{-26} berarti 1/100 . . ., seluruhnya 26 nol). Juga pada energi kimia sering kali dijumpai satuan ini. Energi yang pada reaksi kimia berubah untuk setiap molekul atau atom berkisar dalam susunan besaran yang bernilai hanya beberapa elektronvolt. Namun bukanlah energi ini yang dimaksud, jika kita berbicara tentang energi atom; maka yang kita maksud adalah lebih banyak menyangkut energi yang dibebaskan dari inti atom pada yang disebut reaksi inti, misalnya pada pembelahan inti dalam reaktor inti (lihat halaman 76 dan selanjutnya); energi tersebut lebih tepat dinamakan: energi inti (nuklir). Energi ini jauh lebih besar dan bernilai beberapa juta elektronvolt untuk setiap inti atom. Satu juta elektronvolt disebut satu megaelektronvolt (MeV): 1 MeV = 1.000.000 eV.

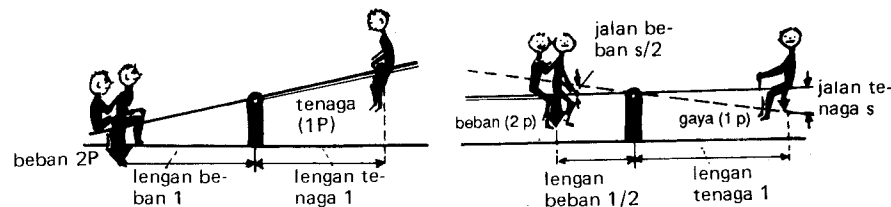
Berbagai bentuk energi dengan bermacam cara dapat diubah dari yang satu menjadi yang lainnya, namun besar energi seluruh-

Gambar 7: Perubahan energi

Gambar 8: Instalasi pembangkit listrik tenaga air

Gambar 9a: Penggerak dengan energi inti (nuklir)

Gambar 9b: Instalasi penggerak pada sebuah kapal dengan energi inti sebagai penggerak (susunan pemasangannya)

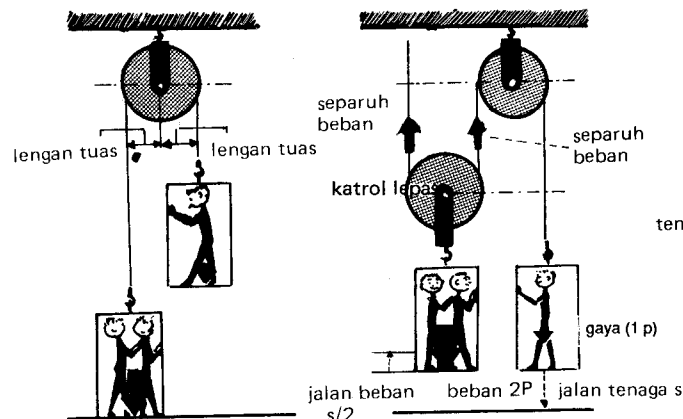
nya selalu tetap (dalil kekekalan energi, Robert Mayer, 1842). Jadi jika ditinjau secara cermat, maka tidak ada *pembuatan energi*, yang ada ialah: energi itu yang diambil dari suatu *sumber energi* dan diubahnya menjadi bentuk yang lebih bermanfaat bagi teknik dan ekonomi. Contoh: energi kimia dari arang berubah pada pembakaran menjadi energi panas, yang dalam mesin uap atau turbin diubah menjadi energi mekanis. Yang terakhir ini diubah lagi oleh generator menjadi energi listrik. Bentuk energi baru ini dengan bantuan saluran listrik dengan mudah dapat dipindahkan ke tempat penggunaan tertentu, tempat energi tersebut dapat diubah menjadi bentuk energi yang dibutuhkan (penggerak listrik, pemanasan listrik, penerangan listrik, dan lain-lain; gambar 7). Pada suatu pembangkit listrik tenaga air misalnya, digunakan energi potensial dari air dalam danau penampungnya yang terletak lebih tinggi daripada pembangkit tersebut (gambar 8). Dengan mengalirnya air ke bawah melalui sistem saluran pipa terjadi perubahan menjadi energi kinetis, yang sekarang dalam turbin diubah menjadi energi listrik. Dalam kapal laut dengan energi nuklir sebagai tenaga penggeraknya (gambar 9) pada elemen pembakaran dari reaktor nuklirnya dihasilkan panas dengan pembelahan inti dari bahan bakar nuklir. Melalui reaktor nuklir itu mengalir air pendingin, yang di situ menjadi panas. Di atas alat penukar panas dihasilkan uap, yang pada gilirannya menggerakkan instalasi turbin, yang di dalamnya energi panas dari uap diubah menjadi energi mekanis (penggerak) dan energi listrik (untuk keperluan sendiri di kapal).

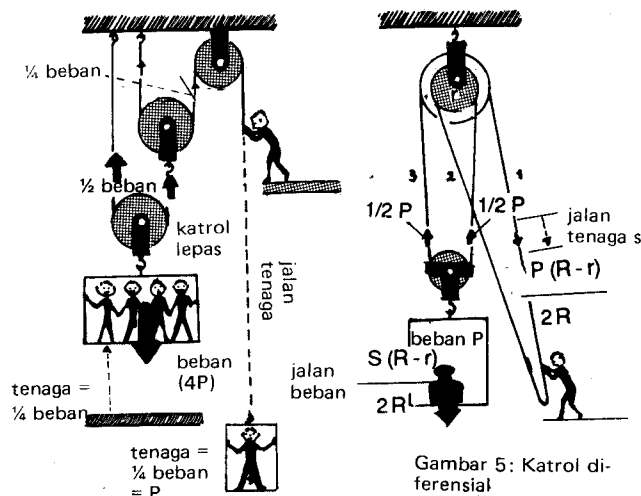
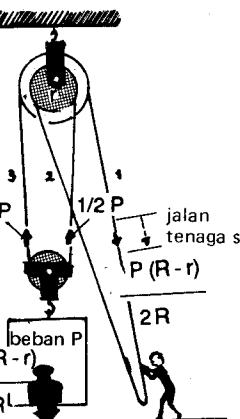
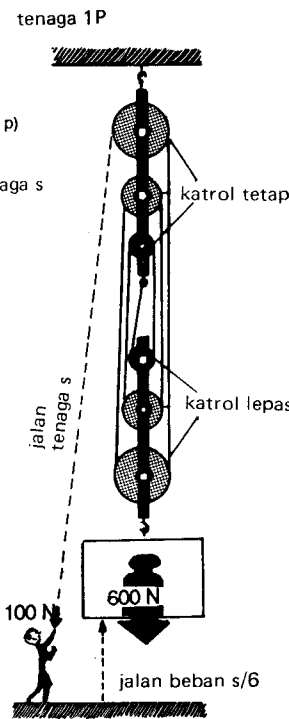
3. Katrol

Katrol (kerek) adalah sebuah mesin sederhana, yang usahanya, yaitu hasil perkalian dari tenaga dan jalan dengan beban yang akan dipindahkan dapat diubah dalam susunannya yang menguntungkan tenaga atas kerugian jalan (atau sebaliknya). Dengan cara demikian dimungkinkan untuk mengangkat beban berat dengan tenaga yang lebih kecil. Jika pada suatu sisi papan jungkitan duduk dua orang yang berat totalnya dua kali berat orang pada sisi yang lain, dan jika jarak orang tersebut sama dari titik tumpuannya, maka jungkitan itu akan turun pada sisi yang dibebani lebih berat (gambar 1a). Persyaratan keseimbangan tenaga x lengan tenaga = beban x lengan beban dalam keadaan ini tidak terpenuhi. Namun keseimbangan masih dapat diperoleh bilamana kedua orang pada sisi kiri memperpendek jarak terhadap titik tengah hingga separuhnya (gambar 1b). Selain itu dari gambar 1b dapat dilihat bahwa pada waktu orang yang sendirian itu turun pada sisi kanan sebanyak jalan tenaga s kedua orang pada sisi kiri, karena mereka duduk lebih dekat pada titik putar, hanya terangkat sebanyak jalan beban s/2. Jadi juga pada suatu gerakan jungkitan produk dari tenaga dan jalan adalah sama pada kedua sisi. Perbandingan yang serupa seperti dalam gambar 1a diperoleh, bila (gambar 2) seutas tali diletakkan di atas sebuah kerek dan kedua ujung tali itu dibebani dengan berbagai beban. Lengan tenaga dan lengan beban keduanya sama dengan jari-jari kerek. Karena kedua beban bertitik-tangkap pada lengan tuas yang sama panjangnya, maka sisi yang dibebani lebih berat akan turun.

Susunan dalam gambar 2 dinamakan kerek (katrol) tetap. Pada susunan seperti dalam gambar 3 (sebuah kerek lepas dan tetap) kendatipun adanya berbagai beban, terdapat keseimbangan. Kerek yang lepas tergantung pada dua tali penahan yang masing-masing memikul setengah beban. Titik tangkap dari beban adalah titikpusat dari kerek lepas itu, dan lengan bebannya adalah sama de-

Gambar 1a: Tidak ada keseimbangan

jalan be-
ban s/2
jalan te-
naga s
beban (2 p)
gaya (1 p)
lengan
beban 1/2
lengan
tenaga 1

Gambar 1b: Seimbang (tenaga x lengan tenaga = beban x lengan beban)

Gambar 2: Katrol tetap

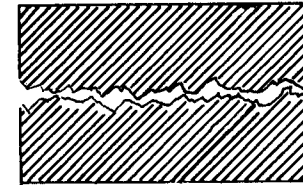
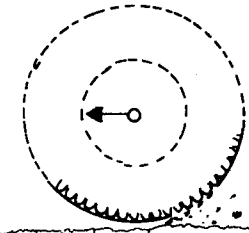
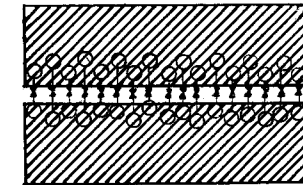
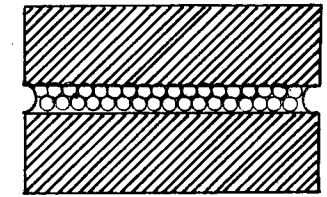
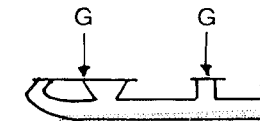
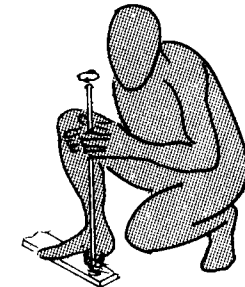
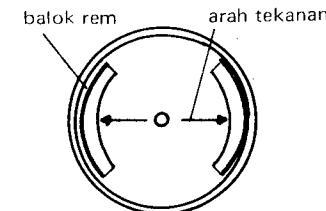
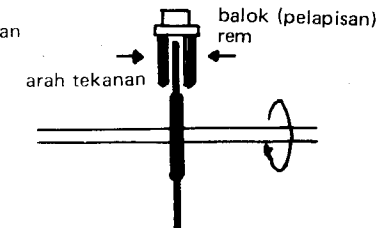
Gambar 3: Katrol lepas

Gambar 4: Perbandingan antara tenaga dan beban dan antara jalan tenaga dan jalan beban

Gambar 5: Katrol diferensial

Gambar 6: Katrol umumnya

ngan jari-jari kerek. Tenaga itu berpegang pada garis keliling kerek dan lengan tenaganya sama dengan dua kali jari-jari kerek lepas. Kerek tetap itu di sini gunanya hanya untuk membelokkan tali dan bersamaan dengan itu arah dari ujung tali itu. Tenaga itu pada ujung tali sebelah kanan harus hanya separuh besarnya dari beban pada kerek lepas, agar keseimbangan dapat dipertahankan. Sudah barang tentu mengangkat beban itu tidak ada usaha yang dihemat, namun pada ujung tali yang dibutuhkan jalan yang dua kali lipat panjangnya, melalui mana beban itu diangkat.

Gambar 4 memperlihatkan bagaimana keadaannya berkembang dengan digunakannya dua kerek lepas. Di sini tersedia empat tali pemikul, jadi besar tenaganya harus hanya seperempat dari beban, namun jalan tenaganya untuk itu adalah empat kali panjangnya daripada jalan beban.

Kerek (katrol) pada gambar 3 dan 4 dinamakan katrol potensi, karena setiap penambahan sebuah katrol lepas lagi memberi kemungkinan untuk melipatgandakan dua kali bebannya pada pemakaian tenaga yang sama, sehingga perbandingan untuk memperhitungkannya ternyata merupakan kepangkatan dari bilangan 2 (beban : tenaga pada dua katrol lepas adalah $2^2 : 1 = 4 : 1$, pada 3 katrol lepas $2^3 : 1 = 8 : 1$, pada 4 katrol lepas: $2^4 : 1 = 16 : 1$, dan seterusnya). Katrol yang diperlihatkan dalam gambar 5 mempunyai dua katrol di atas dengan garis tengah yang berbeda dan yang satu dengan lainnya diikat secara tetap. Jika tali 1 ditarik ke bawah sejauh s, maka tali 3 naik sama banyaknya ke atas. Namun bersamaan dengan itu dari katrol-tali yang kecil dikarenakan garis tengahnya yang lebih kecil, ujung tali 2 tidak sebanyak itu bergeraknya ke bawah, sehingga pada beban itu hanya dikenakan selisih dari kedua jalan itu. Jadi beban itu terangkat lebih sedikit daripada turunnya tali 1. Oleh karena itu untuk mengangkat beban itu pada ujung tali 1 suatu tenaga lebih kecil yang memadai sudah cukup, karena bukankah di sana ditempuh jalan yang lebih panjang? Karena perbandingan jalan beban terhadap jalan dan tenaga terhadap beban dapat diperoleh dari selisih garis tengah katrol atau jari-jarinya (R — r), maka katrol ini dinamakan katrol diferensial. Sebuah katrol biasa merupakan kombinasi dari beberapa katrol tetap dengan katrol lepas yang sama jumlahnya. Katrol tetapnya berada tergantung di atas dan yang lepas di bawah. Pada katrol dalam gambar 6 terdapat enam tali pemikulnya, sehingga di sini antara tenaga dan beban dan juga antara jalan tenaga terdapat perbandingan: 1 : 6.

4. Gesekan I

Dengan gesekan dimaksud adalah tenaga penahan yang terdapat pada bidang sentuh dari lapisan yang berbatasan dari berbagai zat (gesekan luar) atau zat yang sama (gesekan dalam) sebagai resultante dari tenaga makroskopis atau molekuler dan yang menentang gerakan lapisan yang satu dengan yang lainnya (tahanan gesekan). Tenaga makroskopis yang bekerja di sini tergantung pada kekasaran bidang sentuh, yang menyebabkan semacam gigi pada bidang tersebut saling berkaitan (gambar 1a). Oleh karena itu harus digunakan energi untuk mengatasi perkaitan gigi tersebut. Hal ini dilakukan dengan mengangkat benda itu, membengkokkan atau mematahkan gigi itu. Hal yang terakhir misalnya adalah penyebab dari terkikisnya ban mobil; ia menyebabkan profil yang dibuat untuk memperoleh daya pegang yang lebih besar menjadi rata (gambar 1b). Sebaliknya jika kita ingin memperkecil tahanan gesekan, seperti pada bantalan poros roda, maka hal ini dapat dilakukan dengan melincinkan secara sempurna bidang sentuhannya. Maka yang tinggal adalah gesekan yang disebabkan tenaga tahan molekuler (gambar 2). Tahanan gesekan dapat diturunkan lagi secara drastis dengan menaruh suatu lapisan cairan yang tipis, terutama lapisan minyak di antara bidang yang bersentuhan (gambar 3). Berdasarkan lapisan cairan semacam itu maka gesekan antara pisau baja dan bidang es pada waktu orang meluncur di atas es dengan sepatu es (skate) luar biasa kecilnya. Karena tekanan kuat yang ditimbulkan oleh berat (G) pemain skate pada bidang sentuh yang sempit antara pisau sepatu es dan es, es itu mencair di bidang yang sempit itu (relegasi = pemindahan es) dan membentuk lapisan cairan yang sangat menurunkan gesekan (gambar 4). Dalam segala hal, apakah tahanan gesekan itu besar atau kecil, energi yang dibutuhkan untuk mengatasinya sebagian besar berubah menjadi bentuk panas yang tidak teratur — maka itu manusia pada tingkat peradaban yang primitif telah menghidupkan api seperti pada gambar 5a. Pada ge-

Gambar 1a: Tahanan (hambatan) gesekan sebagai akibat kekasaran permukaannya.

Gambar 1b: Pengikisan ban mobil sebagai akibat dari kasarnya permukaan jalan.

Gambar 2: Tahanan gesekan sebagai akibat daya tarik molekuler antara permukaan yang licin

Gambar 3: Penurunan tahanan gesek.

Gambar 4: Sepatu es *(skate)*

Gambar 5a: "Membuat" api.

Gambar 5b: Rem tromol.

Gambar 5c: Rem piringan.

sekan antara roda dan jalan atau rel panas gesekan yang timbul di sini memanaskan ban atau roda kereta api.

Fungsi menghambat gerakan dari tahanan — yang kita ingin menekannya serendah mungkin untuk mempertahankan suatu gerakan, — dalam pada itu digunakan pula sebaliknya bila kita ingin menghentikan suatu gerakan. Maka segala usaha dikerahkan untuk memperbesar gesekan antara bidang sentuhnya, seperti misalnya terjadi pada rem mobil kita dengan menggunakan blok rem (gambar 5b dan 5c).

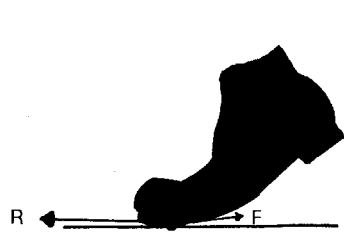
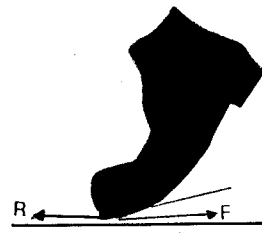
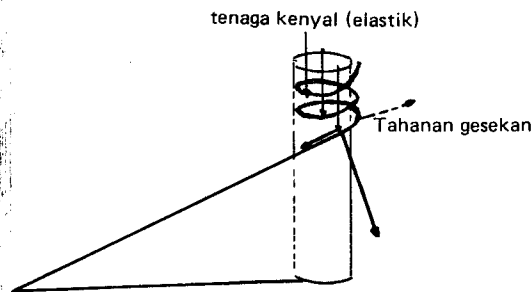
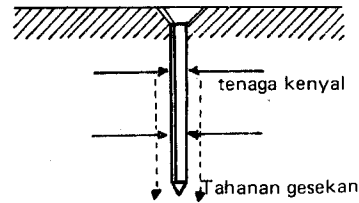
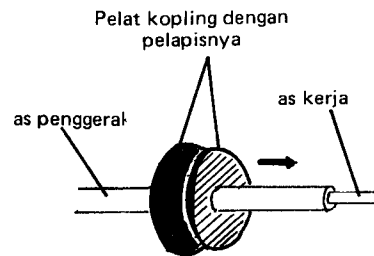
Juga cara manusia dan binatang berjalan secara normal mencontohkan tenaga gesekan antara kaki dan tanah (gambar 6a) sebagaimana terbukti dengan tergelincirnya orang bila tahanan gesekan diturunkan oleh lapisan minyak atau es di tanah (gambar 6b). Sekrup dan paku menghubungkan bagian dengan kukuh, karena mereka terhindar dari pelicinan dan tidak terlepas oleh adanya gesekan (gambar 7a dan 7b). Gesekan juga digunakan untuk memindahkan tenaga dalam mesin gesek (friksi) dan penghubung (kopling), misalnya pada mobil (gambar 8). Meskipun pada peristiwa gesekan sebagian terbesar dari energi yang diubah beralih menjadi panas, namun terjadi juga pengubahan menjadi bentuk-bentuk energi lain, misalnya menjadi energi listrik dan bunyi (akustik). Demikianlah terlihat adanya muatan listrik bila sebuah isolator — misalnya piringan hitam — digosok dengan kain; muatan itu dapat dilihat dengan tertariknya debu dan serabut. Muatan listrik yang diperoleh secara demikian dinamakan tenaga listrik gesekan. Pengubahan menjadi energi akustik dapat kita saksikan pada suara jeritan pada bantalan atau menggertiknya engsel pintu; tetapi juga getaran senar biola yang ditimbulkan penggeseknya termasuk dalam peristiwa ini.

Gesekan (II)

Selain gesekan yang meluncur, memang harus dibedakan antara gesekan dalam keadaan diam dan gesekan dalam keadaan gerak, masih terdapat juga *gesekan berguling*, yang disebabkan oleh perubahan bentuk secara elastis pada waktu menggelinding, yang menimbulkan tenaga (berat), ketika benda yang menggelinding itu memberi beban kepada alasnya (lapisan bawah).

Dengan lebih besarnya tekanan di belahan bagian muka dari bidang sentuh (dihitung dalam arah berguling) daripada di bagian belakang, tempat tekanan itu untuk sebagian diimbangi oleh pengaruh lanjutan dari kelentingan itu, terjadi suatu momen putar yang sifatnya menghambat, dan besarnya sebanding dengan beban. Makin elastis (yakni juga makin keras) alasnya makin besar pengaruh lanjutan dari kelentingan itu, dan dengan demikian pula makin kecil momen penghambatnya atau gesekan bergulingnya. Sifat dari gesekan berguling ini digunakan pada bantalan pelor, bantalan rol dan bantalan silinder lainnya, tempat gesekan meluncur dari es diganti oleh gesekan berguling, untuk menekan secara minimal kerugian yang disebabkan oleh gesekan. Sebaliknya pengereman gesekan berguling itu digunakan misalnya antara ban mobil dan jalan sebagai tahanan gesekan tambahan di samping kerja rem antara balok rem tromol roda. Bagi setiap pengendara kendaraan bermotor misalnya proses pengereman berjalan lancar, jika kerja remnya justru dengan bantuan gesekan berguling mencapai maksimumnya: Sebab jika terlalu keras diremnya, maka roda itu akan macet, gesekan meluncur (yang lebih kecil) antara roda dan jalan tidak dapat lagi menahan kendaraan itu dalam jalurnya, sehingga kendaraan itu akan terpental.

Hukum mengenai tahanan gesekan dapat dikembalikan pada CH. A. Coulomb. Ia telah menemukan:

1. Tahanan gesekan itu sebanding dengan tenaga (misalnya: berat), dengan mana benda yang meluncur itu membebani alasnya.

Gambar 6a: Tahanan gesekan R > tenaga tolak F.

Gambar 6b: R < F.

Gambar 7a: Cara bekerjanya sekrup (paku ulir).

Gambar 7b: Cara bekerjanya paku.

Gambar 8: Prinsip kopling gesek pada kendaraan bermotor

Gambar 9: Perangsangan supaya senar biola berayun (bergetar) dengan gesekan.

2. Tahanan gesekan pada hasil usaha yang sama tidak tergantung pada bidang sentuhnya.

Tahanan gesekan $\vec{R}$ adalah suatu tenaga yang arahnya terletak dalam bidang sentuhnya, dan yang — serupa dengan tahanan kelembaman — timbul sebagai tenaga reaksi terhadap setiap tenaga yang datang dari luar. Menurut besarnya tenaga itu sebanding dengan besarnya tenaga beban yang bekerja tegak lurus pada bidang sentuh, sehingga berlakulah rumus:

$$R = \mu_R \cdot N \text{ atau } \mu_R = \frac{R}{N}$$

faktor perbandingan yang ditandai dengan μ_R disebut koefisien gesekan. Pada umumnya untuk gesekan meluncur, Ch. A. Coulomb telah menyimpulkan hubungan di atas, diberikan koefisien gesekan dari gerakan itu. Nilainya dalam hal ini untuk gesekan antara logam yang sama adalah antara $\mu_R = 0{,}15$ dan $\mu_R = 0{,}50$ ($\mu_R = 0{,}07$ pada logam yang diminyaki); untuk gesekan antara kayu terhadap kayu sekitar $\mu_R = 0{,}40$ (pada bidang yang telah dibuat licin). Hukum Coulomb secara keseluruhannya hanya berlaku dalam keadaan percobaan, ketika terdapat kemurnian/kebersihan yang setinggi-tingginya. Berlakunya rumus itu dibatasi oleh penggunaan zat pelumas untuk menurunkan gesekan. Untuk keperluan tersebut bukan saja digunakan minyak dan air, melainkan juga grafit, talk, sabun pelumas. Dalam hal ini khusus hukum Coulomb ke-2 tidak berlaku lagi, sebab tebalnya lapisan bahan pelumas antara bidang sentuh tergantung pada tekanannya, dan tekanan ini lebih besar pada tenaga beban yang sama untuk bidang sentuh yang lebih kecil, sehingga bahan pelumas lebih mudah didesak ke luar antara bidang sentuh tersebut. Hubungan yang sesuai seperti yang terdapat antara momen pengereman dari gesekan berguling M_R dan tenaga beban N:

$$M_R = Q \cdot N \text{ atau } Q = \frac{M_R}{N}$$

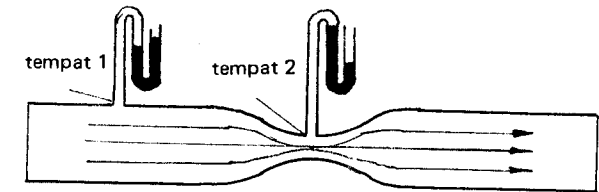
Dalam hal ini Q menunjukkan koefisien gesekan dari gesekan berguling. Sedangkan μ_R merupakan bilangan yang tidak dipakai, Q yang berdasarkan persamaan definisinya merupakan hasil-bagi dari momen putar (M_R) dengan tenaga (N), mempunyai dimensi (cm).

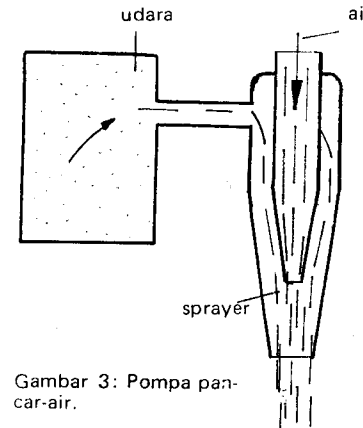
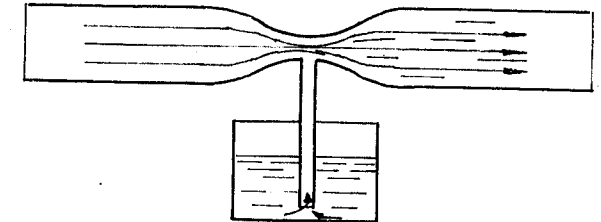
5. Arus (Aliran)

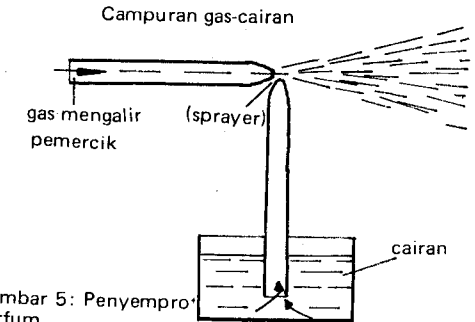
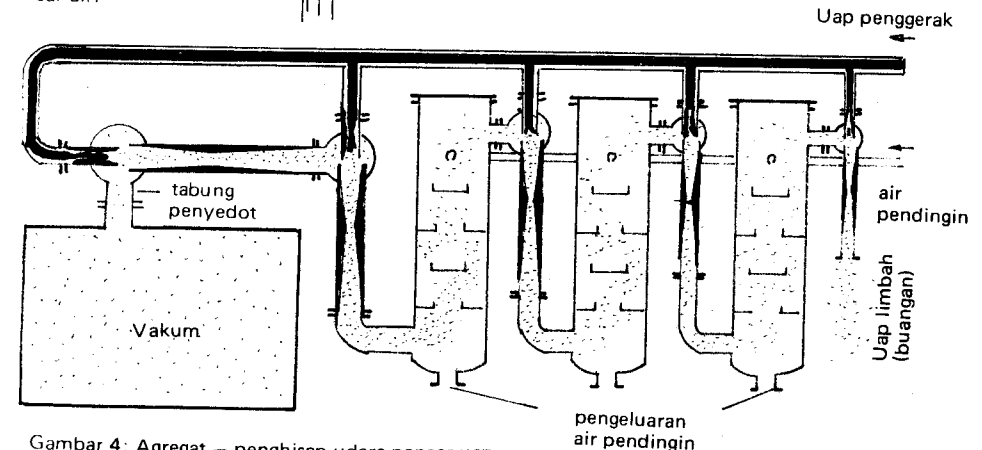
Jika gas atau cairan mengalir melalui pipa dengan suatu penyempitan, maka akan terlihat bahwa tekanan p dari zat antara (medium) yang mengalir itu pada dinding pipa di sekitar penyempitan lebih kecil daripada di daerah penampang lintang yang lebar (normal). Jika kecepatan arus dalam bagian pipa yang lebar dan yang sempit diukur, maka akan diketemukan bahwa kecepatan aliran v di dalam bagian pipa yang lebar lebih kecil daripada di bagian yang dipersempit. Hubungan antara kecepatan aliran dan penampang lintang pipa menghasilkan yang disebut *persamaan kontinuitas*, yang bagi cairan yang tidak dapat dipadatkan, berarti bahwa hasil perkalian penampang lintang pipa A dan kecepatan aliran v selalu konstan dan sama dengan volume cairan yang berlalu (mengalir) setiap satuan waktu: $A \cdot v = \text{konstan} = Q$. Pada penampang lintang yang lebih kecil kecepatannya harus lebih besar, agar supaya Q tetap konstan.

Tekanan, kecepatan mengalir dan kepadatan menentukan energi dari zat yang mengalir. Namun energi itu (terlepas dari hilangnya karena gesekan) tidak boleh berubah (hukum kekekalan energi). Oleh karena itu berlaku *neraca energi:* energi di tempat 1 = energi di tempat 2 (gambar 1). Dari sini untuk cairan yang tidak dapat dipadatkan dapat disimpulkan persamaan Bernoulli:

$$p_1 + \frac{1}{2} Q v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} Q v_2^2$$

p_1 atau p_2 menandai tekanan statis di tempat 1 atau 2. (tekanan pada dinding), $\frac{1}{2} Q v_1^2$ atau $\frac{1}{2} Q v_2^2$ tekanan dorong. Di sini Q adalah kepadatan dan v_1 atau v_2 kecepatan cairan atau gas. Jumlah dari tekanan statis dan tekanan dorong disebut tekanan bersama; tekanan tersebut dapat dilihat dalam pipa yang diarahkan berlawanan dengan cairan dan dapat diukur secara demikian (Pipa Pilot). Dari rumus tersebut dapat diketahui: Makin tinggi tekanan

Gambar 1: Pada penyempitan terdapat tekanan yang lebih rendah.

Gambar 2: Karena ada tekanan rendah gelas di bawah akan menjadi kosong.

Gambar 3: Pompa pancar-air.

Gambar 5: Penyemprot parfum.

Gambar 4: Agregat – penghisap udara pancar uap lima tingkat.

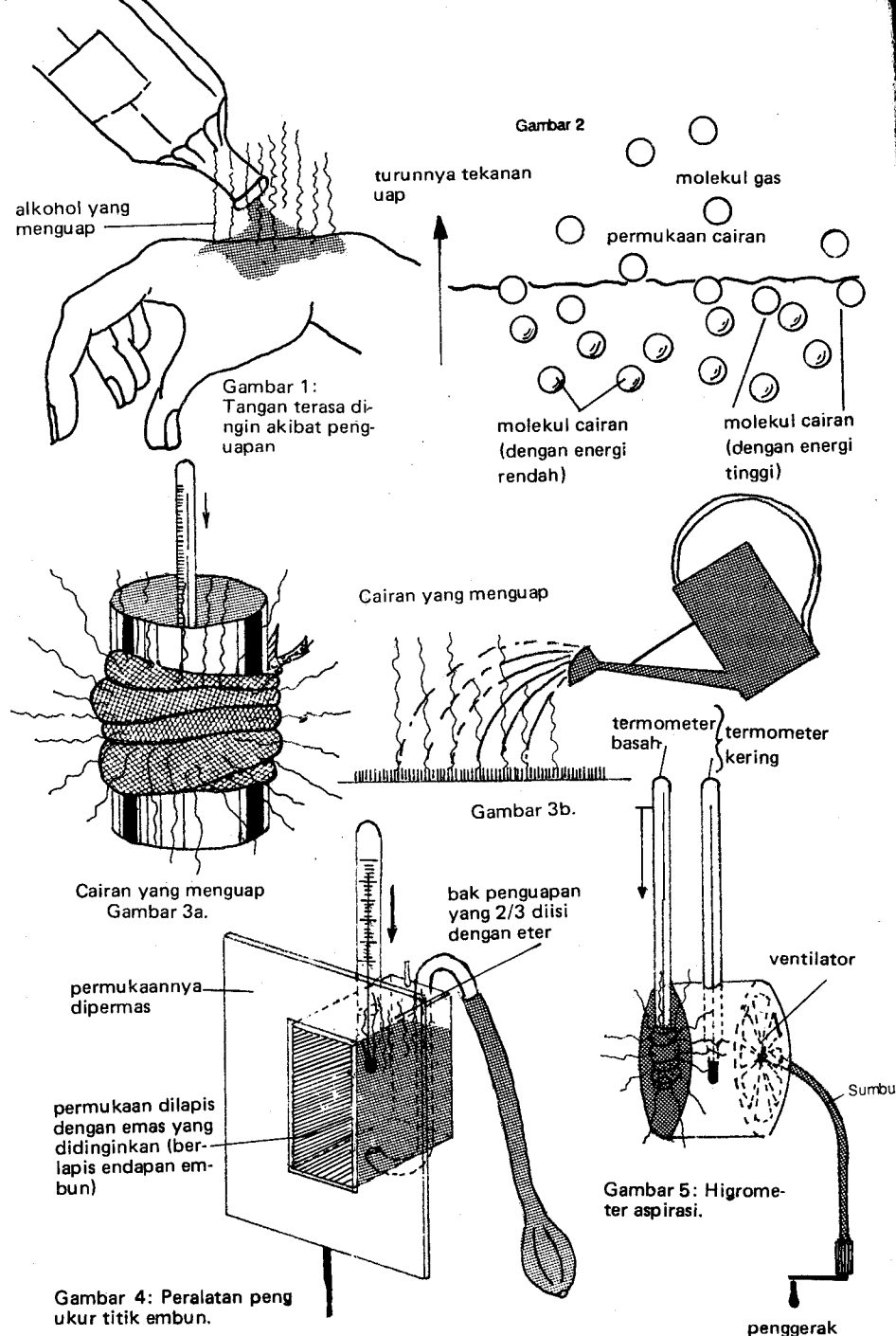
statis pada suatu tempat, makin kecil kecepatan medium yang mengalir pada tempat ini (atau sebaliknya). Jika sistem itu tidak datar letaknya, maka letak yang berbeda-beda tingginya dari tempat yang ditinjau harus dimasukkan/diperhitungkan dalam persamaan itu.

Kemungkinan menggunakan hukum ini dilukiskan dalam gambar 2: Jika tekanan statis di tempat yang disempitkan lebih kecil daripada tekanan udara di luar, maka air akan tersedot dari mangkuk, dan mangkuk tersebut akan cepat menjadi kosong. Efek ini digunakan pada pompa pancaran air (gambar 3). Melalui pemancar dipancarkan air dengan kecepatan tinggi dalam pipa yang diperlebar. Tumpuan pompa disambungkan dengan tabung yang tertutup. Karena pancaran air menyedot seluruh udara yang ada dalam tabung dan dalam saluran dan mengangkutnya (menyeretnya) keluar, tangki udara dipompa hingga "hampa udara" (dikosongkan).

Suatu perbaikan pada instalasi ini adalah pengisap-udara pancar-uap, yang sebagai pengganti air digunakan uap air dengan tekanan yang sangat tinggi (gambar 4). Juga cara bekerjanya sayap penyangga pada sebuah kapal terbang dapat diterangkan dengan persamaan Bernoulli. Demikian pula kenyataan dalam kamar mandi dengan pancuran (*douche*) tirainya tersedot ke dalam, sewaktu air dipancarkan. Oleh air yang mengalir cepat itu udara dalam kabin tersedot dan dengan demikian memperoleh kecepatan yang lebih besar daripada udara di luar, yang sebenarnya praktis dalam keadaan diam; selisih tekanan sebagai hasilnya menekan tirai itu ke dalam.

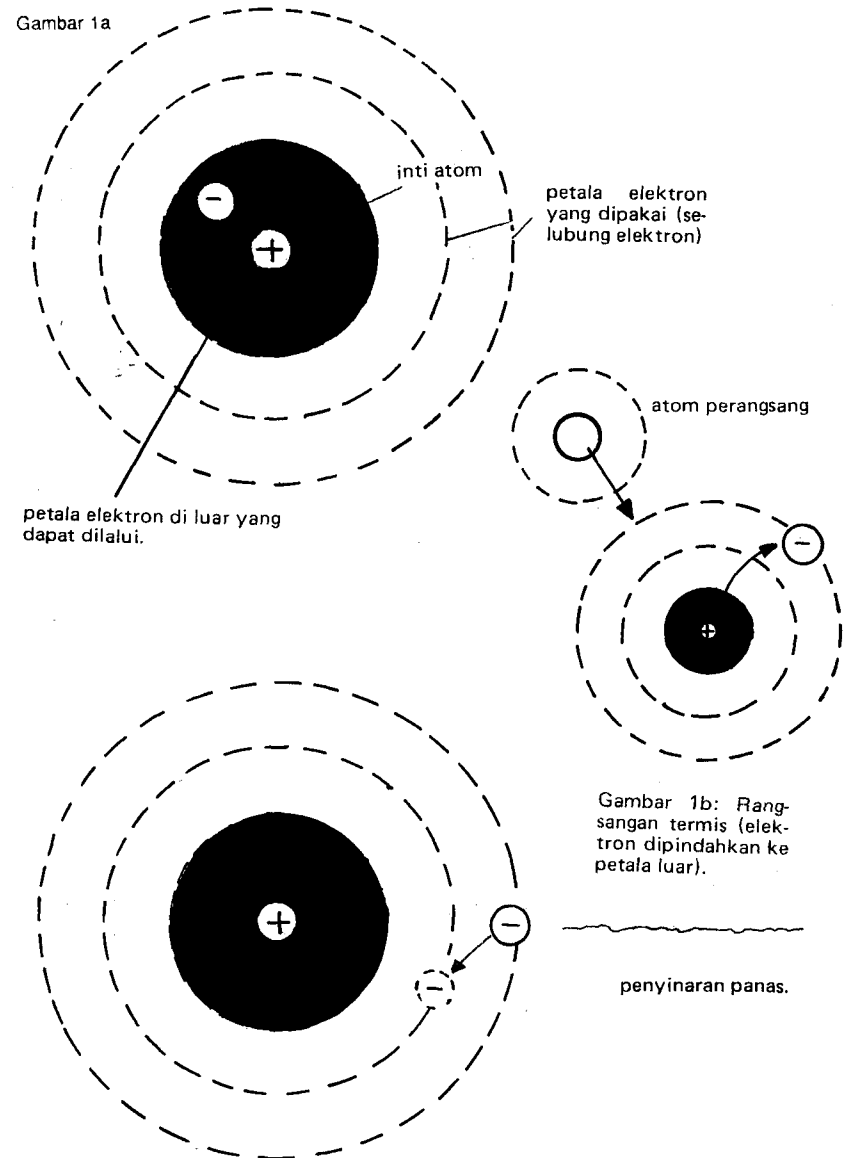
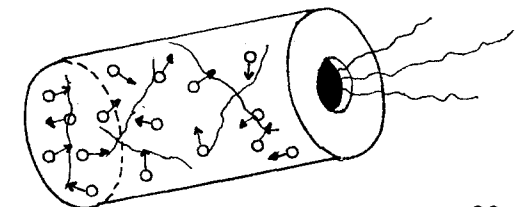
Gas dalam beberapa hal mengikuti persamaan Bernoulli. Jika aliran gas dengan kecepatan tinggi dilewatkan pada ujung atas dari suatu pipa kecil yang ujung bawahnya dibenam dalam cairan, maka cairan itu naik ke dalam pipa kecil tersebut dan pada ujung atasnya akan terseret oleh arus gas itu. Hal ini merupakan prinsip bekerjanya karburator dan penyemprot parfum (gambar 5).

6. Penguapan dan Kesejukan

Jika suatu cairan hangat kuku, misalnya alkohol, disiramkan ke atas tangan (gambar 1), maka beberapa saat kemudian akan timbul rasa dingin sekali. Itu karena cairan tersebut menguap dan beralih menjadi gas. Energi yang dibutuhkan untuk melepaskan molekul dari ikatan yang tidak erat dalam keadaan cair, dalam hal ini berbentuk energi panas, diambil dari daerah sekitarnya (menurut gambar 1 adalah tangan manusia). Secara khususnya peristiwa penguapan dan pendinginan yang berkaitan dengan itu harus dibayangkan, sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 2. Di situ molekul yang karena benturan antarsesamanya akibat gerakan thermis (panas) yang tidak beraturan telah memperoleh energi gerak yang sedemikian tingginya, sehingga molekul tersebut berada dalam kedudukan untuk menerobos permukaan cairan ditandai merah. Di atas permukaan cairan molekul ini membentuk gas dari zat yang menguap. Sebaliknya molekul yang berenergi lebih rendah berwarna hitam, yang merupakan zat dalam bentuk cair. Jadi jelaslah bahwa karena perpindahan molekul yang berenergi lebih tinggi akibat penguapan, maka nilai energi rata-rata (pertengahan) molekul dari cairan itu menurun. Namun nilai pertengahan ini sebanding dengan suatu besaran yang dikenal umum sebagai ukuran untuk rasa panas atau dingin kita, yaitu temperatur (suhu). Turunnya energi rata-rata oleh karenanya berarti turunnya temperatur dan dengan demikian timbullah pendinginan. Penguapan itu berlangsung terus, sehingga tekanan uap (gas) dari zat yang menguap di ruang luar mengakibatkan molekul sambil melepaskan panas kembali lagi ke dalam cairan (mengendap) yang sama banyaknya dengan yang menguap dengan pengambilan panas (keadaan seimbang). Hal ini dapat kita lihat dengan jelas sekali dalam pengaturan panas dalam badan kita yang dengan memisahkan air (keringat) dan penguapan dipertahankan keseimbangan panasnya. Jika tekanan uap air, yaitu kelembaban udara sangat tinggi, maka pengaturan ini terganggu

dan kita rasakan udara di sekitar kita panas menyesakkan. Peristiwa pengaturan biofisik ini dapat ditiru, jika misalnya suatu tabung yang berisi (gambar 3a) didinginkan dengan membungkusnya kain basah. Juga pendinginan (di-"es") dengan kloretil supaya jangan merasa sakit pada operasi kecil dapat dikembalikan ke peristiwa ini. Efek sejuk yang terdapat pada penyiraman permukaan jalan dan kebun, juga berdasarkan penguapan air yang melebar dan luas (gambar 3b). Teknik pengukuran pendinginan dengan penguapan diterapkan dalam *pengukur titik embun* (gambar 4) dan dalam *higrometer-aspirasi* (gambar 5) untuk menentukan kelembaban udara. Pada pengukur titik embun suatu bidang logam yang dipoles dan dilapisi emas didinginkan dengan penguapan eter dan suhunya (titik embun) ditentukan pada saat dapat terlihatnya untuk pertama kali lapisan endapan kelembaban. Untuk mempercepat pendinginan ditiupkan udara melalui eter. Makin besar kelembaban udara, makin tinggi titik embunnya. Pada higrometer-aspirasi sebuah termometer kering dan termometer "basah" (pada ujung bawahnya dibalut kain basah) dipasang menghadapi arus udara yang sama. Makin tinggi kelembaban udara, makin sedikit air menguap pada termometer yang basah dan makin sedikit turunnya temperatur dibandingkan dengan temperatur termometer yang kering.

7. Pancaran Panas

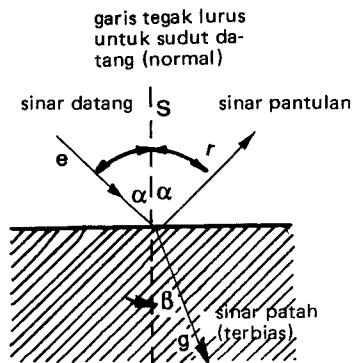
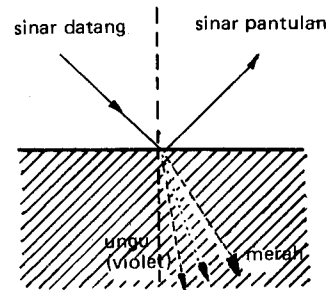
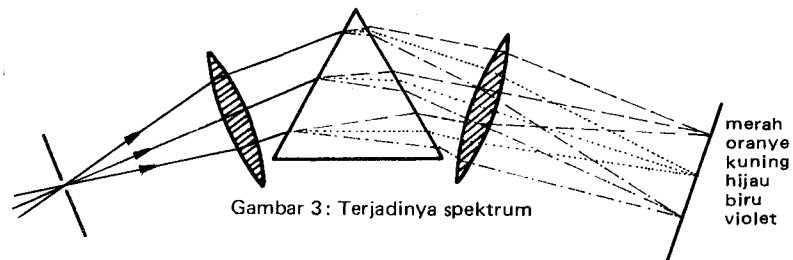
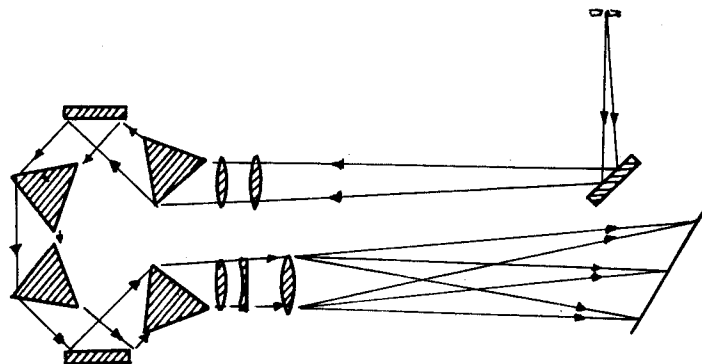
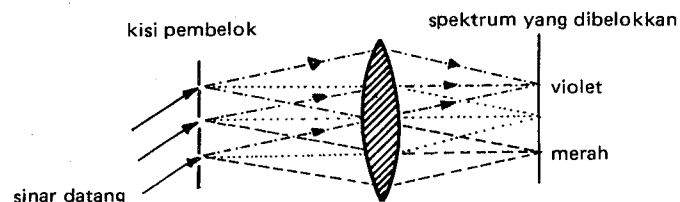
Keadaan suatu benda yang kita rasakan sebagai panas, yang urutan tingkatannya kita ukur sebagai suhu (temperatur), ditimbulkan oleh gerakan batu bangunannya, atom atau molekul. Yang terakhir ini pada benda padat dan cair bergerak tidak teratur sama sekali mengedari kedudukan yang diam yang tetap atau bergerak, pada benda berbentuk gas atom dan molekul itu bahkan bergerak sama sekali tidak teratur (bersimpang siur) antara sesamanya. Pada peristiwa gerakan termis ini yang meliputi daerah energi yang luas — yang energi rata-ratanya makin besar saja, jika temperaturnya menjadi makin tinggi — terjadi terus-menerus perbenturan ketika terjadi pula perubahan dalam selubung elektron, yang meliputi inti-atom. Dalam gambar 1a suatu atom dengan intinya dan selubung elektronnya digambarkan secara skematis. Selain selubung elektron dilukiskan juga dengan garis potong daerah kemungkinan bergeraknya (petala) elektron, ketika elektron tersebut karena kejadian di luar dapat terangkat keluar dari selubungnya. Kejadian di luar semacam itu adalah misalnya perbenturan termis (gambar 1b). Karenanya elektron dapat dipindahkan ("dirangsang") ke petala luar. Atom atau molekul semacam itu dikatakan dirangsang secara termis. Di petala ini dalam pada itu elektron tidak menetap untuk selamanya, karena keadaan terangsang itu tidak stabil. Oleh karenanya ia menuju kembali ke tempatnya semula dalam selubung elektron, biasanya secara bertingkat jatuh melalui kedudukan yang berdekatan, — kira-kira dengan cara jatuhnya bola yang menggelinding jatuh melalui tangga. Selisih energi antara tingkat itu di sini kecil sekali. Pada pergantian ini atom itu menyinarkan suatu sinar elektromagnet, yang panjang gelombangnya menjadi makin besar, jika tingkat energi antara kedudukan yang berdekatan (petala) menjadi makin kecil (gambar 1c). Kita rasakan penyinaran bergelombang panjang semacam itu sebagai pancaran panas. Sinar ini dalam spektrum bergabung dengan sinar merah, oleh karena itu sinar

Gambar 1b: Rangsangan termis (elektron dipindahkan ke petala luar).

Gambar 1c: Perpindahan elektron menimbulkan penyinaran.

Gambar 2: Penyinar hitam.

ini disebut infra merah atau ultra-merah (panjang gelombangnya di atas 0,8 μm). Suatu spektrum yang lengkap dari sinar semacam itu diperlihatkan kepada kita oleh yang disebut "penyinar hitam" (gambar 2). Ia merupakan suatu ruang kosong, yang dalam bidang mukanya berlubang. Penyinar dalam keseluruhannya diusahakan supaya temperaturnya konstan. Kemudian di dalamnya terjadi keseimbangan penyinaran (panas) yang sepadan dengan temperatur tadi. Sebagian dari sinar ini ke luar melalui lubang itu dan karenanya dapat diamati. Sebaliknya ruang kosong itu juga menelan (mengisap) semua sinar yang masuk dari luar melalui lubang tersebut; oleh karenanya nampaknya hitam.

8. Pemantulan, Pematahan (Pembiasan) dan Pembengkokan Sinar

Jika suatu sinar mengenai bidang batas dari dua media (zat antara) yang berbeda dan tembus penglihatan (jernih), misalnya dari udara ke balok kaca, maka sebagian dari sinar itu dipantulkan (refleksi) dalam medium pertama, bagian lainnya memasuki medium kedua. Namun sinar tersebut di sini mengubah arah perluasannya semula, sinar itu dipatahkan atau dibiaskan. Kedua gejala ini disebut *refleksi* dan *pembiasan* (refraksi; gambar 1). Sinar r dipantulkan sedemikian rupa, sehingga ia dengan garis normal s (garis tegak lurus pada bidang batas) membentuk sudut α yang sama dengan sudut datang sinar e (sudut datang = sudut pantulan). Sinar datang e, normal s, sudut pantulan r dan sinar bias g selanjutnya terletak dalam satu bidang. Hubungan matematika yang ada antara sudut datang α dan sudut bias β, digambarkan oleh hukum pembiasan sinar: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$; di sini n adalah indeks pembiasan relatif (angka bias).

Sinar putih pada pembiasan terurai menjadi berbagai warna sinar, yaitu sinar spektrum (gambar 2); terjadilah suatu spektrum (gambar 3). Warna merah dibiaskan paling sedikit, violet (ungu) paling kuat/banyak (dispersi). Bilamana berkas sinar dengan berbagai warna spektrum itu dikumpulkan dengan sebuah lensa, maka terjadi lagi sinar putih. Hal ini sudah berhasil pula dengan hanya menggunakan dua warna spektrum (dalam keadaan intensitas tertentu), jika warna tersebut komplementer terhadap sesamanya (warna komplementer). Setiap warna spektrum sesuai dengan panjang gelombang sinar tertentu. Spektrum dari zat padat atau cair dan gas yang sangat dipadatkan yang berpijar adalah bersinambungan; spektrum tersebut mengandung semua panjang gelombang (warna merah hingga violet). Bahwa dalam pada itu beberapa panjang gelombang tidak terdapat dalam spektrum matahari (tampak beberapa garis gelap, yang disebut *garis Fraunhofer*), disebabkan

Gambar 1: Pematulan (refleksi) dan pembiasan

Gambar 2: Terurainya sinar pada pembiasan

Gambar 3: Terjadinya spektrum

Gambar 4: Prinsip dari peralatan spektrum

Gambar 5: Terjadinya spektrum yang dibelokkan

oleh penyerapan (absorbsi) dari panjang gelombang dalam bagian luar matahari yang berbentuk gas. Gas yang berpijar dalam keadaan normal memancarkan sinar dengan panjang gelombang tersendiri yang amat tertentu; maka terlihatlah suatu spektrum garis, terdiri atas beberapa garis spektrum (pada atom), atau suatu spektrum pita/jalur (pada molekul), yang menunjukkan sejumlah besar garis spektrum yang berdekatan sekali. Panjang gelombang yang dipancarkan oleh gas sebaliknya dapat diserap juga oleh gas. Setiap unsur kimia memperlihatkan dalam bentuk gasnya suatu spektrum yang sangat karakteristik, dengan spektrum itu unsur itu dapat menunjukkan kehadirannya (Analisis spektral; Kirchhoff dan Bunsen, 1859). Untuk pembuktiannya digunakan peralatan spektrum (gambar 4).

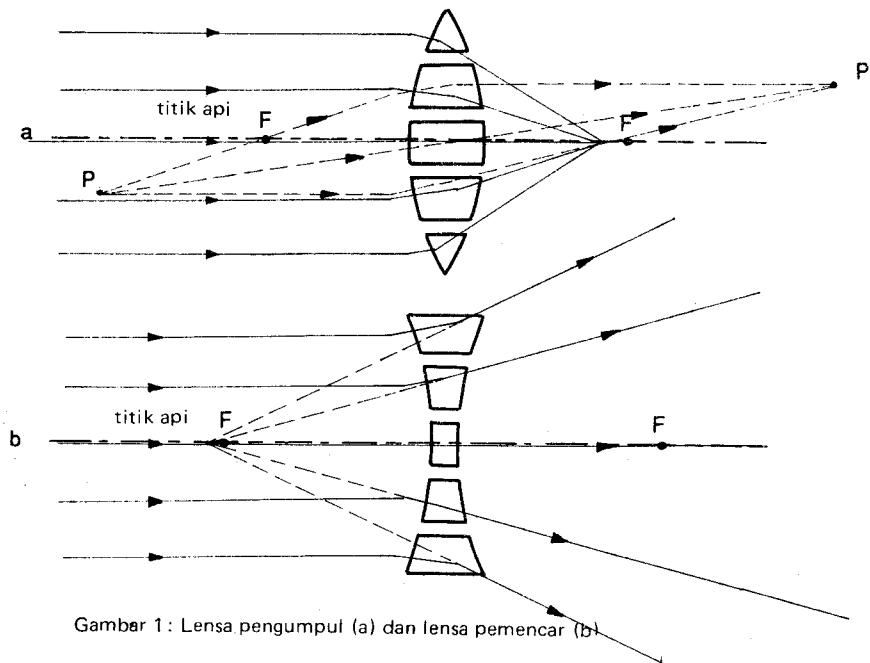
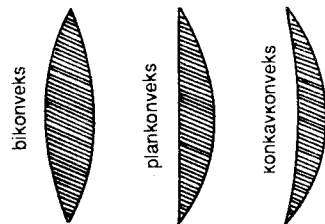
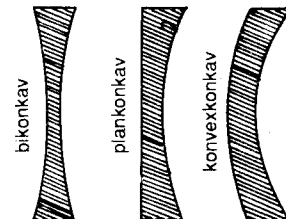
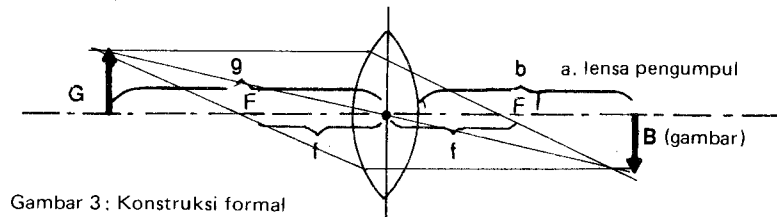
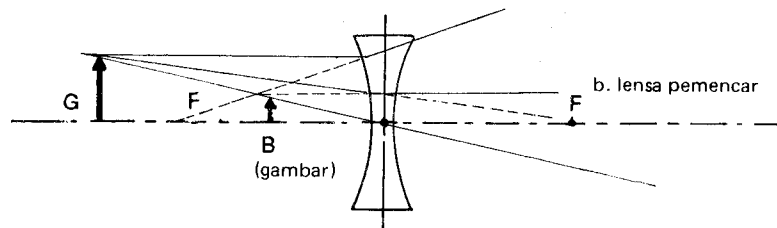
Jika dalam lintasan sinar diletakkan suatu benda kecil, kita tidak akan melihat bayangan geometris yang tajam (yang sepadan dengan perluasan sinar melalui garis lurus), melainkan suatu susunan tertentu dari daerah yang terang dan gelap (misalnya: jalur). Penyimpangan dari jalannya/lintasan sinar yang lurus semacam itu disebut pembelokan (difraksi). Hal ini hanya dapat diterangkan dengan teori gelombang sinar (bertumpang-tindihnya beberapa gelombang sinar (interferensi). Susunan teratur dari celah sempit yang sangat berdekatan atau jalur yang dapat ditembus adalah sebuah kisi pembelok (gambar 5). Jika sinar putih jatuh pada sebuah kisi pembelok maka di sini pun dapat dilihat suatu spektrum, karena arah yang dilalui cahaya semata-mata tergantung pada panjangnya gelombang. Namun berlawanan dengan pembiasan, pada pembelokan sinar merah yang bergelombang lebih panjang itu dibelokkan lebih banyak arahnya semula daripada yang violet dengan gelombang lebih pendek.

Lingkaran berbentuk cincin/gelang di sekeliling matahari atau bulan adalah gejala pembelokan pada titik air dalam atmosfer. Oleh karenanya tepi bagian luar dari lingkaran tampak agak berwarna merah. Yang disebut *halo* sebaliknya adalah gejala pembiasan dan pencerminan (pemantulan) pada kristal es [kebanyakan dalam awan bulu (*zirrus*) yang tipis]. Urutan warna pada cincin tampaknya, apabila dapat diketahui seluruhnya, dalam urutan yang terbalik (merah di dalam, violet di luar). Pada terjadinya pelangi, maka gejala pembiasan, pemantulan dan pembelokan bekerja sama. Warna biru dari langit disebabkan oleh pembelokan (pengham-

buran) sinar matahari dalam perjalanannya di dalam atmosfer, tempat warna yang bergelombang lebih pendek (biru) dibelokkan lebih banyak dari arahnya daripada yang bergelombang lebih panjang (merah).

9. Lensa

Pada waktu melalui sebuah prisma sinar itu berubah arah dan pada hakikatnya sinar tersebut selalu dibelokkan oleh sisi pembiasnya (lihat refleksi, pembiasan). Cobalah sekarang kita bayangkan sejumlah prisma seperti yang tersusun dalam gambar 1, yang bidang pembiasnya makin ke tengah makin kurang condong (miring) terhadap sesamanya: Sinar melalui prisma pada ujung dibiaskan paling banyak mengarah ke tengah, sedangkan dalam lempeng yang berada di tengah dengan bidangnya yang paralel sama sekali tidak terjadi pembelokan. Dengan demikian sinar yang paralel, bila melalui susunan prisma ini akan dibiaskan menuju porosnya dan dikumpulkan di suatu titik (F^1). Juga sinar yang berasal dari suatu titik P oleh prisma tersebut dibelokkan sedemikian rupa sehingga akan berkumpul lagi di suatu titik P'. Jika prisma yang banyak sekali jumlahnya itu dirapatkan menjadi satu, maka akhirnya bidang melengkung dan banyak itu akan menjadi bidang yang cembung. Karena sinar itu terkumpul menjadi satu, benda pembias itu dinamakan: *lensa pengumpul.* Jadi lensa pengumpul itu di bagian tengahnya lebih tebal daripada di tepinya (konveks).

Jika sebuah lensa di tengahnya lebih tipis daripada di tepinya (konkaf), maka pembahasan serupa dapat dilakukan (gambar 1b) dan menetapkan bahwa semua sinar berasal dari tengah akan berpencaran; lensa semacam itu dinamakan *lensa pemencar.* Menurut pembiasannya nampaknya seolah-olah sinar yang semula sejajar itu berasal dari suatu titik F, sedangkan sinar yang datangnya dari suatu titik nampaknya berasal dari suatu titik yang lain (bandingkan gambar 3b). Gambar 2 memperlihatkan bermacam-macam bentuk lama pengumpul dan lensa pemencar. Lensa yang terakhir dalam tiap-tiap kelompoknya dengan kedua bidangnya searah namun berbeda keras lengkungnya dinamakan meniskus; bentuk ini terutama dibutuhkan untuk kacamata. Sifat lensa dijabarkan dalam hukum pembiasan: Sinar yang sejajar dengan sumbu setelah melalui se-

Gambar 1: Lensa pengumpul (a) dan lensa pemencar (b)

Gambar 2a: Lensa pengumpul

Gambar 2b: Lensa pemencar

Gambar 3: Konstruksi formal dari gambar

buah lensa pengumpul pembiasan terkumpul di suatu titik, yaitu titik api F. Sebaliknya sinar yang melalui titik api menjadi sejajar dengan sumbu sesudah pembiasan. Sinar yang melalui titik tengah lensa tidak berubah arah. Pada lensa pemencar hukum pertamanya berbunyi serupa: Sinar yang sejajar dengan sumbu setelah pembiasan berlalu sedemikian rupa, seolah-olah sinar tersebut berasal dari titik api. Dua dari tiga hal yang telah dikatakan mengenai hukum pembiasan sinar sudah cukup untuk membuat gambar suatu titik dari G melalui lensa (gambar 3a dan 3b). Lensa pengumpul menghasilkan gambar real atau nyata, yang dapat diperlihatkan di titik kumpul sinar tersebut pada sebilah kaca susu, layar atau pelat foto. Hal ini tidak mungkin terjadi pada gambar melalui lensa pemencar; di situ hanya terjadi gambar virtual atau maya, tempatnya seolah-olah pada arah sinar itu berasal.

Gambar dengan lensa tipis dapat diperhitungkan menurut rumus:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = D$$

(g = jarak benda dalam meter, b = jarak gambar dalam meter, f = jarak titik api dalam meter). Sebagai pengganti jarak titik api untuk sebuah lensa sering kali diberitahukan daya pembiasannya dalam *dioptri*, yaitu sebagai nilai kebalikan dari jarak titik api f yang diukur dalam meter. Makin pendek jarak titik api sebuah lensa, makin besar daya pembiasannya D. Jadi lensa dengan misalnya f = 20 cm = 0,20 m mempunyai daya pembiasan sebanyak 5 dioptri. Pada lensa pemencar f atau D itu negatif; maka hal ini menghasilkan juga b yang negatif, karena gambar mayanya terletak pada sisi lensa yang sama dengan bendanya.

Beberapa lensa mempunyai kesalahan menurut persyaratan fisika, yang menghalangi terkumpulnya sinar yang tajam sama sekali. Gambar itu dapat diperbaiki, jika menggabungkan lensa yang berlawanan penyimpangannya.

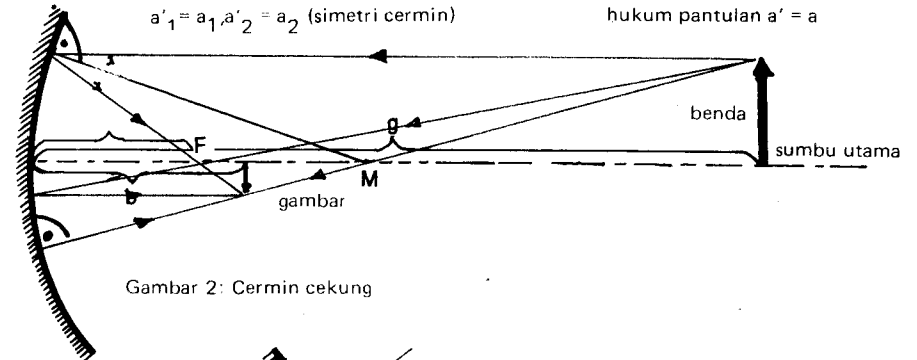
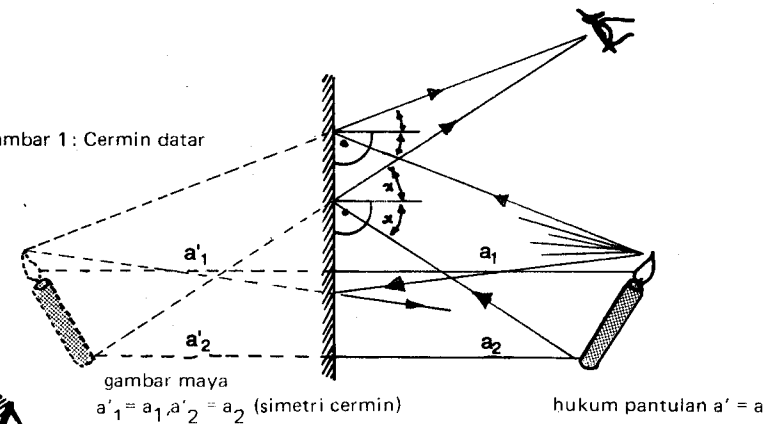
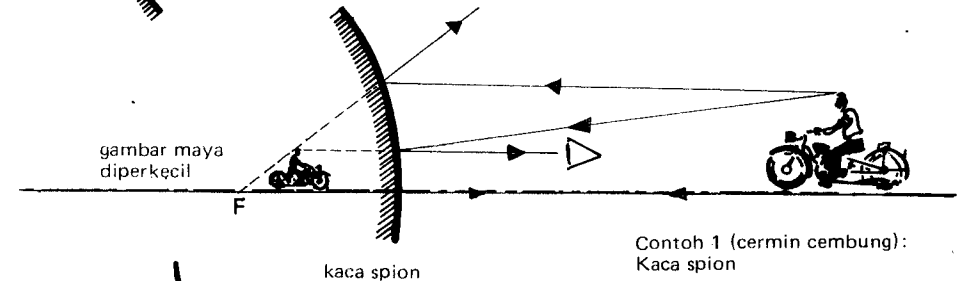
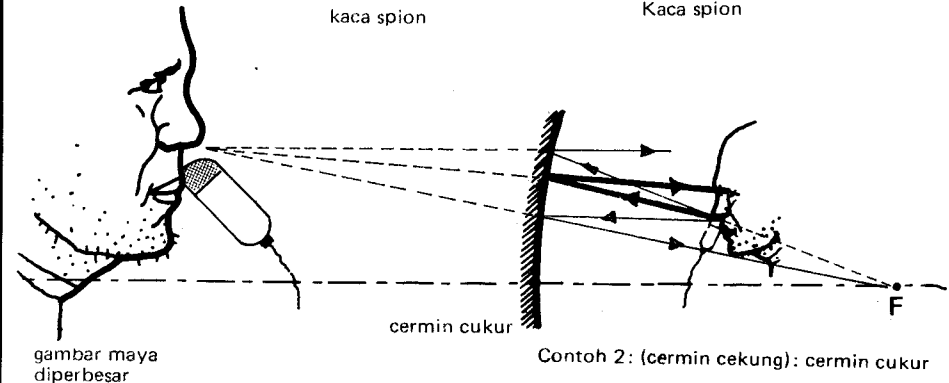
10. Cermin

Pencerminan terjadi pada permukaan yang licin; permukaan tersebut memantulkan sinar yang jatuh padanya tidak secara terpencar, namun terarah. Mengenai arah sinar yang dipantulkan dikatakan dalam **hukum pantulan.** Sinar datang, garis tegak lurus pada bidang yang mencerminkan (memantulkan) dan sinar yang terpantul terletak dalam satu bidang, sudut pantulnya sama dengan sudut datang.

Cermin Datar

Dari suatu titik pada suatu benda sinar itu terpencar ke segala jurusan. Jika suatu berkas sinar semacam itu dipantulkan oleh sebuah cermin datar, sinar itu sesuai dengan perubahan arah ini juga akan cenderung untuk memencar lebih jauh. Jadi sinar tersebut tidak akan berkumpul lagi dan karenanya tidak dapat menghasilkan gambar nyata (real) namun mereka kesemuanya nampaknya berasal dari suatu titik di belakang cermin, dari gambar maya dari titik benda. Gambar maya itu terletak pada jarak yang sama di belakang bidang pantulan dengan bendanya di muka cermin.

Cermin Lengkung

Jika kita bayangkan dinding suatu bola terbagi menjadi bidang rata yang murni lagi kecil-kecil sekali, maka jari-jarinya tegak lurus pada setiap bidang kecil ini. Dengan demikian hukum pantulan itu dapat digunakan juga pada cermin yang permukaannya berbentuk seperti kulit bola: suatu sinar yang melalui titik pusat lengkungan M dengan demikian dipantulkan melalui sinar itu sendiri. Semua sinar setelah pemantulan membentuk sudut yang sama lagi dengan jari-jarinya, sehingga terutama sinar yang sejajar terkumpul di suatu titik pada sumbu tepat di tengah-tengah antara titik pusat lengkungan dan cermin. Titik ini adalah titik api F dari cermin cekung; jarak titik apinya adalah separuh besarnya dari radius lengkungan.

Sebaliknya sinar yang melalui titik api setelah pemantulan menjadi sejajar dengan sumbu utama. Gambar 2: memperlihatkan pembentukan gambar pada cermin cekung (cermin pengumpul).

Untuk perhitungannya berlaku persamaan:

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

(g = jarak benda, b = jarak gambar, f = jarak titik api [= ½ radius lengkungan r]). Pada cermin cembung (cermin pemencar) terjadi suatu gambar maya di belakang cermin. Jarak titik api dan jarak gambar dalam persamaan itu negatif.

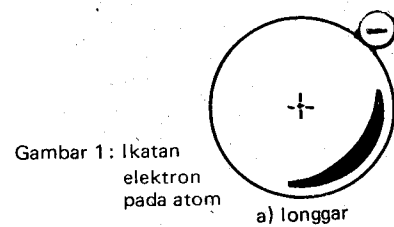
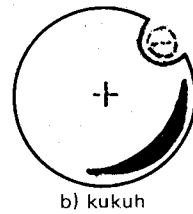
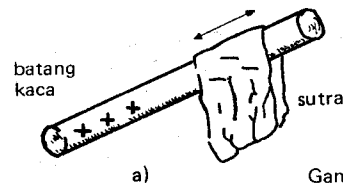
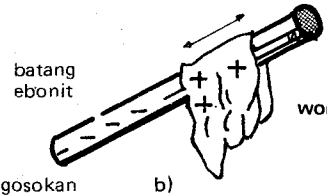
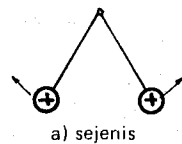
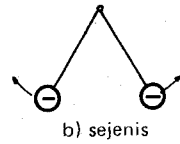
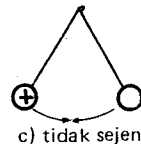
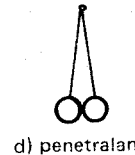
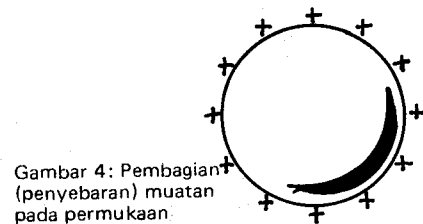
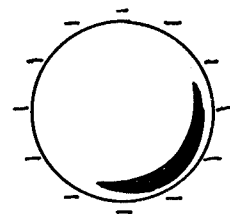
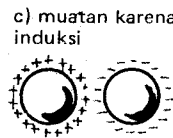
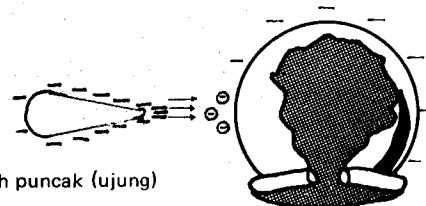
Penggunaan cermin:

Pada **kaca spion mobil** (contoh 1) sebuah cermin cembung membuat gambar maya yang diperkecil dari daerah yang lebih besar di belakang pengendara. Sebuah **cermin cukur** (contoh 2) adalah sebuah cermin cekung, orang yang menggunakannya bergerak di dalam jarak titik apinya, sehingga ia melihat dalam cermin itu gambarnya yang diperbesar, tegak dan maya.

Untuk konstruksi yang formal dalam contoh tersebut dipilih lagi dua sinar yang cocok sekali, yaitu sinar yang sejajar dengan sumbu utamanya dan sinar yang melalui titik api. Namun yang sebenarnya berguna bagi kita adalah hanya berkas sinar yang mencapai mata kita. — Untuk penggunaan cermin dalam **teleskop cermin.**

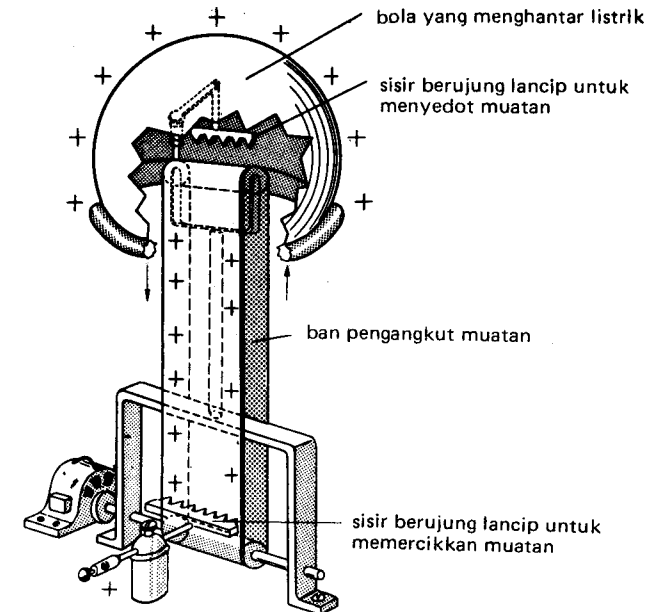
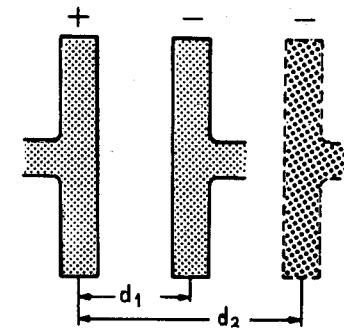
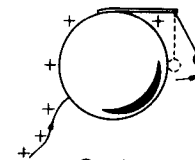
11. Elektrostatika I

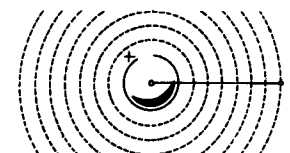
Benda atau zat (materi) tersusun dari atom yang netral. Kenetralan listrik dari atom itu terjamin, karena muatan positif dari inti atom mengimbangi muatan negatif dari elektron yang mengelilingi inti. Di sini elektron yang terletak di bagian paling luar, dapat terikat dalam ikatan longgar pada kumpulan atom lainnya (gambar 1a) atau lebih erat lagi terbenam dalam ikatan ini (gambar 1b). Atom dari jenis pertama untuk melepaskan elektron kepada atom yang berdekatan, sedangkan yang dari jenis kedua cenderung untuk merenggut elektron daripadanya. Oleh karena itu jika kaca digosok dengan kain sutera, maka kaca itu akan terisi muatan positif (gambar 2a), sedangkan ebonit setelah digosok dengan kain wol memperlihatkan muatan negatif (gambar 2b). Jika dua bola kecil yang digantungkan sebagai bandul diberi muatan listrik yang sejenis (dengan misalnya memindahkan muatan sebatang tongkat kaca yang telah diberi muatan secara digosok dengan disentuhkan kepada kedua bola tersebut), maka terlihatlah adanya tenaga yang bertolakan (gambar 3a dan 3b). Muatan yang tidak sejenis menimbulkan tenaga (gambar 3c) dan dengan disentuhkannya bola yang bermuatan tidak sejenis mengakibatkan penetralan (gambar 3d). Muatan positif berarti kekurangan elektron, muatan negatif kelebihan elektron dibandingkan dengan keadaan atom yang netral. Elektron itu merupakan bagian unsur tenaga listrik dengan bermuatan $e = 1{,}062 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, bermassa dalam keadaan diam $m_0 = 0{,}9108 \cdot 10^{-27}$ g dan berjari-jari $2{,}82 \cdot 10^{-13}$ cm.

Karena muatan sejenis saling tolak, muatan itu pada permukaan suatu penghantar tersusun sedemikian rupa, sehingga di bagian dalamnya terjadi ruang bebas muatan, hingga tidak ada tenaga listrik yang bekerja (gambar 4a dan 4b). Jika suatu penghantar listrik yang bermuatan didekatkan pada penghantar listrik yang tidak bermuatan (netral), maka pada yang terakhir terjadi pemisahan muatan (gambar 5a). Jika penghantar yang pertama bermuatan po-

Gambar 1: Ikatan elektron pada atom

Gambar 2: Tenaga listrik karena gosokan

Gambar 3: Pengaruh tenaga antara muatan

Gambar 4: Pembagian (penyebaran) muatan pada permukaan

Gambar 5: Pemberian muatan dengan induksi

Gambar 6: Pengaruh puncak (ujung)

sitif, maka penghantar yang semula netral itu, pada sisi yang berhadapan dengan penghantar yang bermuatan positif akan bermuatan negatif, sedangkan sisi yang berpaling mengandung muatan positif yang sama banyaknya. Jika muatan — yang ditolak itu — disalurkan ke tanah (gambar 5b), maka penghantar kedua yang semula ne netral itu, setelah dikembalikan menjadi bermuatan negatif (gambar 5c). Pemberian muatan semacam ini disebut *induksi.* Penolakan muatan sejenis dapat meningkatkan tenaga tolak sedemikian tingginya pada permukaan yang sangat melengkung (puncak/ ujung), sehingga pembawa muatan (elektron) meninggalkan penghantarnya (gambar 6) dan misalnya dapat dipercikkan pada sebuah penghantar yang netral, yang kemudian mengisi sesuai dengan tanda di muka (+ atau —) dari muatan yang dipercikkan (dalam hal ini: negatif).

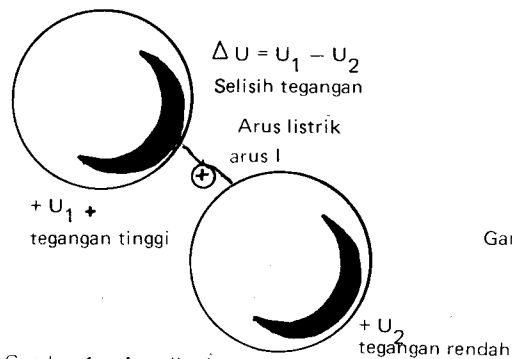
Elektrostatika (II)

Generator Van de Graaff (gambar 7) memanfaatkan kemungkinan untuk memercikkan muatan. Pada suatu ban berjalan yang menyekat listrik diberi muatan; ban berjalan ini membawa muatan tersebut ke bagian dalam bola yang terdiri dari penghantar dan mempunyai jari-jari yang besar, bagian juga bebas dari tenaga listrik. Di situ muatan itu disedot dengan elektroda yang lancip (sisir), yang mengumpul pada permukaan penghantar dan dapat menimbulkan muatan yang sangat tinggi. Hasil kerja yang diperoleh dengan generator ini tidak begitu tinggi, karena jumlah muatan yang diangkut hanya dapat mempertahankan tenaga arus yang kecil. Namun sebagai gantinya dapat dibangkitkan tegangan listrik yang dapat meningkat hingga besaran yang bernilai beberapa juta Volt. Tinggi tegangan itu dapat meningkat demikian, karena generator itu ditempatkan dalam kamar tekanan tinggi, sehingga tegangan yang dapat meloncatkan bunga api dari penghantar ke bagian bangunan yang diketanahkan (dinetralkan) dipertinggi. Daya tampung suatu benda terhadap muatan listrik dinamakan *kapasitas.* Suatu peralatan, yang kapasitasnya tergantung pada besaran yang secara geometri dapat diberikan sebelumnya atau berubah-ubah, disebut *kondensator.* Daya tampungnya akan muatan listrik terutama ditentukan oleh hasil induksinya. Pada pokoknya alat tersebut terdiri atas dua bidang tersekat yang berhadapan (gambar 8), yang besarnya (F) dan jaraknya (d_1, d_2) dapat diubah. Sebagaimana dapat dipahami sepintas lalu, makin banyak muatan terikat karena induksi, makin besar F dan makin kecil d. Maka itu kondensator berkapasitas tinggi dibuat dengan menggulung secara bertumpuk lembaran logam tipis, yang dipisahkan (disekat) satu dari yang lainnya oleh lapisan kertas tipis sebagai penyekat (isolator). Jika kita gantungkan sebuah bandul bola dekat pada penghantar, maka kita lihat, bahwa pada waktu penghantar itu diberi muatan, bandul itu ditolak dengan kekuatan yang sepadan dengan tingginya muatan

Gambar 7: Generator Van-de-Graaff

Gambar 8a

Gambar 9a

Gambar 9b

gambar-10

(gambar 9a). Gejala ini serupa dengan kejadian hidrolis, ketika tekanan air dalam tempat airnya ditinggikan dan tekanan tersebut diukur dengan manometer air raksa yang berbentuk U (gambar 9b). Tekanan dalam peristiwa hidrolika serupa dengan tegangan dalam peristiwa perlistrikan (diukur dalam Volt). Dengan muatan listrik Q (diukur dalam Coulomb) dan kapasitas listrik C dari sebuah penghantar (diukur dalam Farad), tegangan listrik (U) berkaitan menurut hubungan sebagai berikut: $U = \frac{Q}{C}$. Di dalam ruangan yang mengelilingi benda yang bermuatan listrik, terjadi suatu tegangan listrik, yang sebanding dengan muatan Q dan berbanding balik dengan jarak r dari titik tengah benda. ($U - \frac{Q}{r}$). Keadaan listrik, yang timbul di ruang itu oleh adanya benda yang bermuatan listrik, disebut medan listrik (gambar 10). Jika titik dengan tegangan yang sama (potensial) dihubungkan, maka terjadilah bidang dengan potensial yang sama (bidang ekuipotensial, bidang *niveau* = permukaan). Maka itu tenaga selalu terdapat searah dengan turunnya potensial. Tenaga yang dalam medan listrik dikenakan pada suatu "Muatan percobaan" kecil, terbagi oleh muatan tersebut, disebut *kekuatan medan listrik.* Tenaga ini selalu terarah tegak lurus pada bidang permukaan (*niveau*). Garis kerja dari kekuatan medan atau tenaga dihubungkan dengan garis medan atau tenaga. Dengan menggunakan bidang potensial dan garis medan dapat digambarkan medan listriknya. Muatan positif merupakan sumber, yang negatif adalah daerah menurunnya garis medan.

12. Eletrodinamika I

Jika dua penghantar listrik yang dimuati secara elektrostatis dan berbeda besar muatannya ($U_1 > U_2$) dihubungkan satu dengan yang lainnya dengan kawat logam, maka terjadilah perpindahan muatan dalam bentuk aliran listrik, hingga kedua penghantar memperoleh potensial yang sama (gambar 1a). Kejadian elektrodinamis ini serupa dengan persamaan hidrolis perpindahan sejumlah cairan jika terdapat penurunan tekanan (gambar 1b). Agar arus listrik dapat mengalir terus dibutuhkan usaha mempertahankan perbedaan tegangan. Pada generator Van de Graaff hal ini terjadi dengan hasil usaha yang berkaitan dengan pengangkutan muatan melalui ban berjalan (gambar 2a). Dalam peristiwa hidrolis sebagai pengganti ban berjalan digunakan sebuah pompa (atau suatu ban bersenduk; gambar 2a). Berbeda dengan sifat aliran cairan, aliran listrik menimbulkan medan magnet dalam ruang yang mengelilinginya. Hubungan antara arah aliran dan arah medan magnet paling mudah dapat diingat dengan menggunakan "dalil pencabut gabus (kortrek)": Jika pencabut sumbat gabus itu digerakkan sejalan dengan sekrup yang berputar ke kanan dalam arah arus pembawa muatan positif, maka arah berputar itu menunjukkan arah dari garis medan magnet yang mengelilingi penghantar dengan berbentuk lingkaran. Adanya medan ini misalnya dapat dibuktikan dengan membeloknya jarum kompas (gambar 3a). Jika penghantar yang lurus digulung menjadi suatu kumparan, maka garis medan yang berbentuk lingkaran itu mengumpul menjadi suatu lintasan (edaran) medan magnet, yang serupa dengan lintasan magnet batang (gambar 3b). Pengaruh magnet itu dapat diperkuat lagi jika pengaruh garis medan magnet itu disalurkan melalui suatu zat yang menunjukkan tahanan magnet yang lebih kecil daripada udara. Zat yang paling cocok adalah besi. Sebuah kumparan yang berinti besi dinamakan elektromagnet (solenoid; gambar 4a). Seringkali digunakan dua elektromagnet dengan satu kuk bersama (gambar 4b). Dalam hal

Gambar 1a: Arus listrik

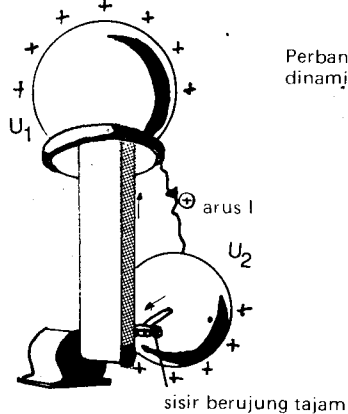
Gambar 1b: Arus cairan

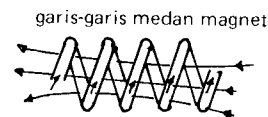
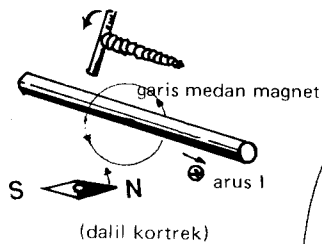
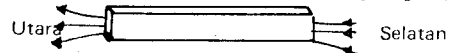
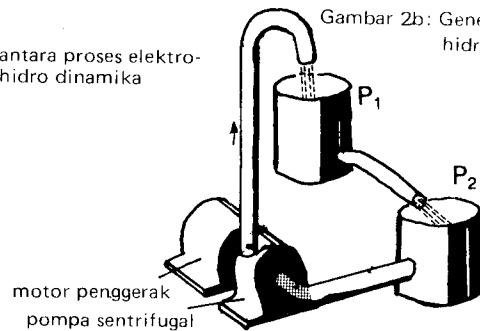
Gambar 2a: Generator listrik

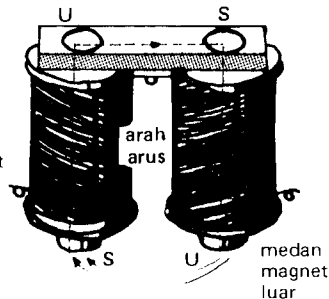
Gambar 2b: Generator hidrolis

Perbandingan antara proses elektro-dinamika dan hidro dinamika

motor penggerak pompa sentrifugal

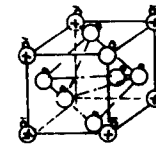
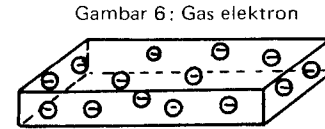
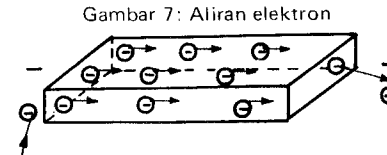
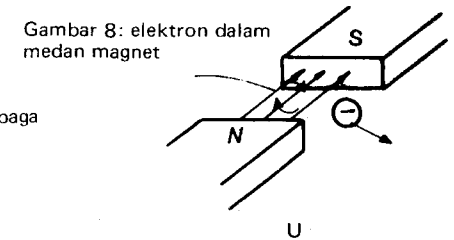
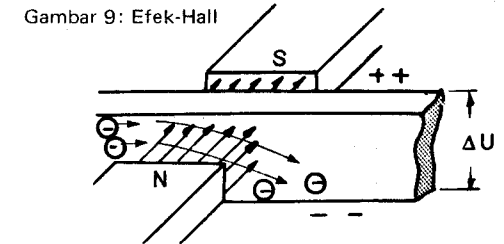
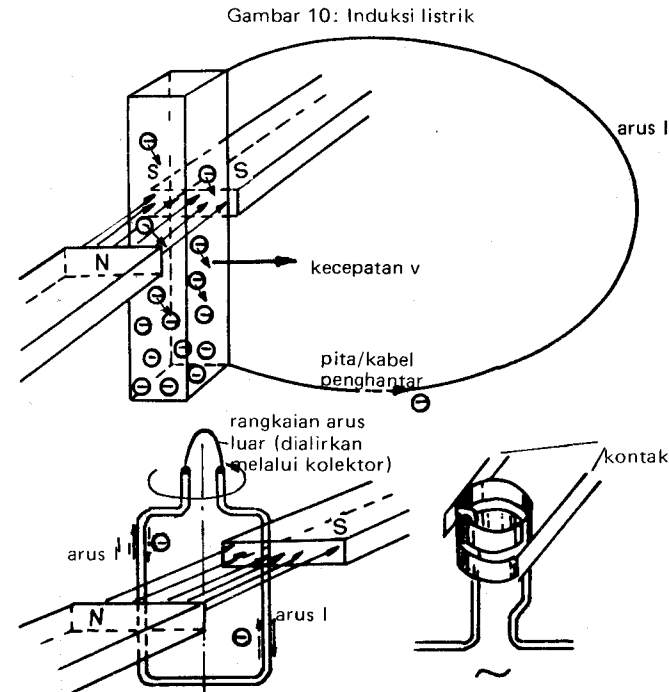
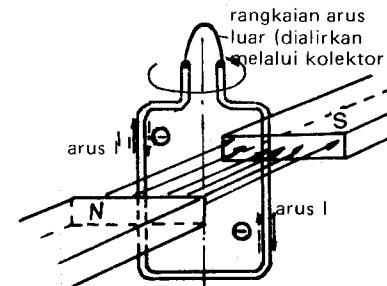
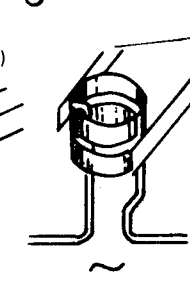
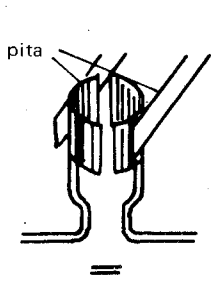
sisir berujung tajam

Gambar 3a: Medan magnet dari suatu penghantar

garis-garis medan magnet

Gambar 3b: Medan magnet sebuah kumparan (untuk perbandingan: batang magnet)

Utara Selatan

Gambar 4a: Kumparan

Gambar 4b: Elektromagnet

ini kumparan tersebut mempunyai arah penggulungan yang berlawanan, sehingga setiap sisi memperlihatkan kutub utara dan selatan yang bebas. Sumber dari garis medan magnet adalah kutub utara, dan kutub selatan adalah daerah yang rendahnya (kurang). Daya magnet itu selalu dijumpai dalam bentuk dua kutub (dwipol); jadi tidak ada muatan magnet positif dan negatif yang bebas seperti dalam peristiwa listrik.

Elektrodinamika (II)

Kejadian pada aliran listrik dalam penghantar dari logam dapat diterangkan dengan menggunakan pengaruh timbal-balik dari elektron dengan atom logam tersebut. Untuk memudahkannya dalam hal ini kita anggap elektron itu berbentuk seperti bola.

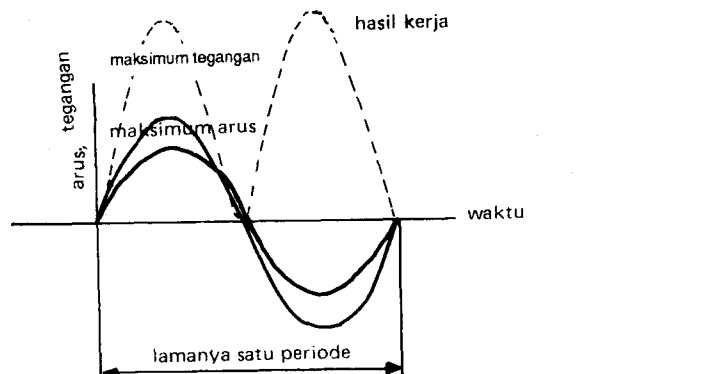
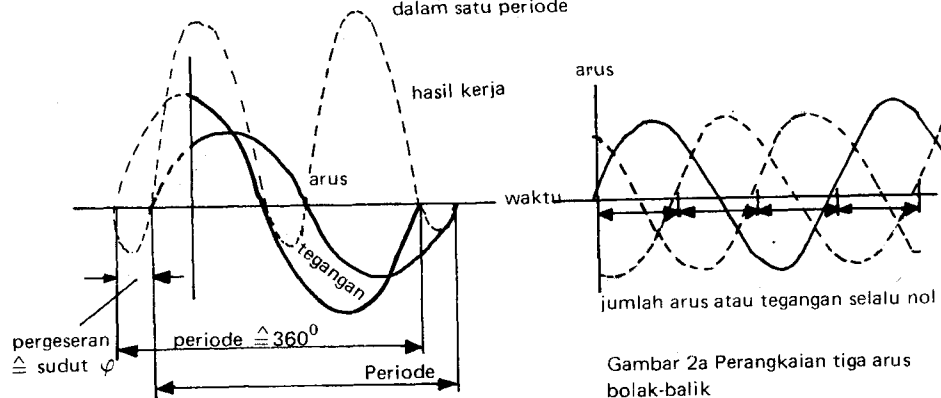
Sebagai contoh untuk penghantar logam akan dipilih tembaga, yang dalam praktik merupakan penghantar listrik yang paling banyak digunakan. Tembaga mempunyai struktur kristal (gambar 5); inti atom tembaga mengandung 29 muatan elementer yang positif, yang dinetralkan oleh 29 elektron yang bermuatan negatif. Elektron yang ke-29 hanya terikat sangat longgar pada inti atom. Karena pada suhu kamar energi panas itu sudah cukup besar untuk membuat atom tembaga itu bergerak di sekitar tempat kedudukannya dalam kerangka kristal. Elektron yang longgar ikatannya ini boleh dikatakan terkibaskan dan sebagai pembawa muatan negatif yang bebas tersedia untuk disalurkan sebagai tenaga listrik. Elektron tersebut nampaknya saja bebas (*quasi frei*), yakni kadang-kadang mereka tertangkap, namun juga dibebaskan kembali. Elektron itu bersikap dalam kerangka kristal seperti gas dalam tangki; oleh karena itu disebut juga "gas elektron" (gambar 6). Jika dikenakan tegangan elektron itu bergerak dari kutub negatif ke kutub positif (gambar 7). Aliran elektron bergerak berlawanan dengan aliran pembawa muatan positif yang dirumuskan sebagai arah aliran positif; hal ini harus selalu diperhatikan. Sifat aliran elektron dalam medan magnet diperlihatkan dalam gambar 8. Di situ diandaikan bahwa suatu elektron tersendiri (sesuatu yang dengan pijar listrik dilepaskan dalam vakum) melintasi medan magnet yang konstan. Bertumpuknya medan ini dengan medan elektron dalam keadaan yang digambarkan mengakibatkan pada bagian atas dari lintasan elektron suatu penambahan dan di bagian bawah pengurangan kekuatan medan magnet. Menurunnya kekuatan medan magnet ini mengakibatkan melengkungnya lintasan elektron. Oleh ka-

Gambar 5: Struktur kristal tembaga

Gambar 6: Gas elektron

Gambar 7: Aliran elektron

Gambar 8: elektron dalam medan magnet

Gambar 9: Efek-Hall

Gambar 10: Induksi listrik

Gambar 11a: Generator listrik (dinamo)

Gambar 11b: Kolektor cincin pita (arus bolak-balik)

Gambar 11c: Kolektor lamel (arus searah)

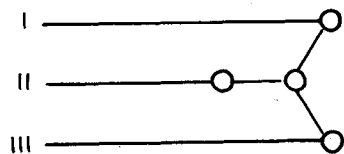
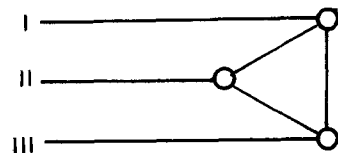
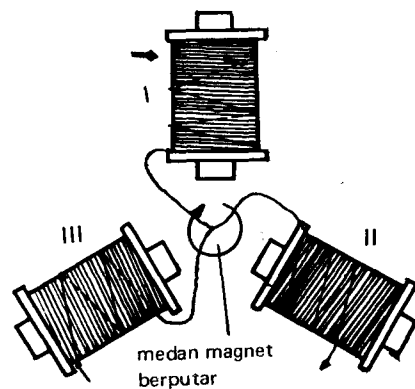
renanya di dalam logam timbul perbedaan tegangan antara sisi atas dan sisi bawah (gambar 9). Gejala ini disebut menurut penemunya: efek-Hall.

Dengan teori elektron dari daya hantar logam ternyata ada juga suatu penjelasan yang nyata mengenai *induksi.* Yang dimaksud dengan induksi ialah timbulnya tegangan dan aliran listrik karena gerakan mekanis dari penghantar dalam medan magnet. Menurut gambar 10 kita bayangkan sepotong logam sebagai tangki yang diisi dengan gas elektron yang kita gerakkan melalui medan magnet yang konstan. Dalam pada itu menurut gambar tersebut konsentrasi elektron pada ujung bawah akan naik dibandingkan dengan ujung atas, dan dengan demikian akan terjadi perbedaan tegangan induksi dengan nilai negatif pada ujung bawah, sedang elektron yang digerakkan secara mekanis dengan kecepatan v — menempuh lintasan yang melengkung ke bawah. Jika ujung dari potongan logam itu dihubungkan denga pita yang terbuat dari penghantar yang melintas jauh di luar medan magnet, maka dalam pita ini — selama penghantarnya digerakkan dalam medan magnet — mengalir arus induksi. Arus itu mengalir, selama arus magnet melalui bidang di pita arus berubah. Arus magnet dapat diubah dengan mengubah bidang yang dialiri (digunakan pada generator listrik) atau dengan mengubah kekuatan medan magnet (lihat transformator). Cara kerja yang mendasar dari *generator listrik* diperagakan dalam gambar 11a: Bidang pita/gelung-arus yang berputar yang dialiri/diliputi medan magnet yang konstan berubah secara berkala dari 0 hingga nilainya yang sepenuhnya. Terjadilah arus listrik dengan arah bertukar, *arus bolak-balik,* yang disalurkan melalui cincin seret ke rangkaian arus di luar (gambar 11b). Penyamaan arah, yaitu pengubahan menjadi arus searah (yang berdenyut) dapat dicapai dengan menggunakan sebuah *kolektor* yang terbagi menjadi pelat tipis atau lamel (gambar 11c). Oleh karena itu dalam generator elektronis yang digunakan dalam praktik terutama selalu dihasilkan arus bolak-balik.

13. Arus Bolak-balik, Arus-putar (Searah), Gelombang Elektromagnet I

Dalam usaha memperoleh energi listrik dengan induksi dalam generator listrik terutama terjadi tegangan bolak-balik, yang menghasilkan arus bolak-balik dalam rangkaian arus di luar (gambar 1a). Dengan kondensator dan kumparan dalam rangkaian arus dapat terjadi pergeseran fase antara tegangan dan arus (gambar 1b). Dalam hal ini produk dari tegangan U dan kekuatan arus I merupakan hasil usaha listrik. Di mana tegangan dan arus bertanda muka sama, maka hasil usaha itu positif (gambar 1a): Jika terjadi pergeseran fase antara tegangan dan arus, sehingga tegangan dan arus berlainan tanda, akan timbul hasil usaha (tenaga) listrik yang negatif, dan tenaga yang dapat dimanfaatkan pada arus tidak terletak dalam fase, karena bagian yang negatif itu menjadi lebih kecil (gambar 1b) daripada arus yang terletak dalam fase (gambar 1a). Jika arus itu tergeser sebanyak seperempat periode terhadap tegangannya, maka tidak dihasilkan tenaga sama sekali, meskipun salurannya dibebani dengan "arus buta". Memburuknya tenaga pada arus yang fasenya tergeser diungkapkan dengan faktor tenaga cos q (tenaga listrik $P = U . I. \cos \varphi$).

Tiga arus bolak-balik yang dalam fasenya masing-masing tergeser sebanyak 120° terhadap sesamanya mempunyai keistimewaan bahwa jumlah arus atau tegangan arus tersebut pada setiap saat sama dengan nol (gambar 2a). Untuk penyaluran selanjutnya dibutuhkan tiga saluran dari yang dirangkaikan dalam bentuk bintang (gambar 2b) atau dalam bentuk segi tiga (gambar 2c). Pada susunan geometris yang serupa dari elektromagnet yang diberi muatan oleh arus yang sedemikian rupa, sehingga (gambar 2d) arus itu berturut-turut dalam setiap kumparan (elektromagnet) pada pergeseran fase banyak 120° (bandingkan gambar 2a) memperoleh nilai yang tertinggi, sehingga di dalam elektromagnet tersebut dibangun suatu medan magnet yang berjalan/bergerak dengan maksimum

Gambar 1a: Jalannya arus bolak-balik dalam satu periode dalam satu periode

Gambar 1b Pergeseran sementara dari arus dan tegangan

Gambar 2a Perangkaian tiga arus bolak-balik

Gambar 2b Hubungan bintang

Gambar 2c Hubungan segitiga

Gambar 2d

arus itu dan karenanya jadi berputar (oleh karena itu arus bolak-balik yang dirangkaikan tiga kali lipat ini disebut "arus berputar"). Dalam medan putar magnet ini misalnya dapat diputarkan sebuah angker sangkar tertutup, sehingga konstruksi (pembuatan) motor arus berputar sangat sederhana sekali.

Arus bolak-balik dibedakan menurut lama periodenya atau nilai timbal-baliknya, frekuensi [yaitu jumlah pertukaran dalam setiap detik; satuan: 1 Hertz (Hz)]. Yang dikatakan arus bolak-balik berfrekuensi rendah adalah yang frekuensinya hingga 20.000 Hz*). Arus bolak-balik yang biasa dipakai dalam jaringan pelayanan energi berfrekuensi 50 Hz, perkeretaapian Federal Jerman menggunakan arus bolak-balik sebesar $16\frac{2}{3}$ Hz. Arus bolak-balik berfrekuensi tinggi hingga beberapa GHz (Gigahertz ≡ 10^9 Hz) digunakan dalam teknik pemberitaan dan terutama sekali dalam teknik radio-televisi. Hal ini disebabkan, karena arus bolak-balik dengan frekuensinya menghasilkan medan magnet yang tidak tetap/goyah dan ia sendiri dihasilkan oleh medan listrik berfrekuensi tinggi. *Medan elektromagnet* ini menjalar ke ruang angkasa dengan kecepatan cahaya, yaitu 300.000 km setiap detik(atau $3 \cdot 10^{10}$ cm/detik). Pada arus bolak-balik berfrekuensi rendah energi yang mengembara ke ruang angkasa ini agak mempunyai cukup waktu untuk kembali lagi ke penghantar listriknya pada waktu terjadi penukaran arah dari arus bolak-balik itu; pada frekuensi yang sangat tinggi dalam pada itu telah terjadi penukaran arah, sebelum seluruh energi kembali dari angkasa. Jadi sebagian tinggal terputus dan mengembara sebagai *pancaran elektromagnet* ke dalam angkasa. Karena sifatnya yang berkala dari penyinaran ini dikatakan tentang adanya *getaran elektromagnet* dan karena adanya persamaan dengan menjalarnya gelombang air tentang adanya *gelombang elektromagnet.*

*) **Pembagian yang lazim tentang tingkatan frekuensi: frekuensi rendah hingga 20.000 Hz, frekuensi menengah hingga 300.000 Hz, frekuensi tinggi hingga 3.000 MHz, selebihnya frekuensi tertinggi.**

13. Arus Bolak-balik, Arus Putar (Searah), Gelombang Elektromagnet (II)

Terjadinya gelombang elektromagnetis dengan demikian selalu kembali kepada tersedianya arus bolak-balik berfrekuensi tinggi. Gejala pemancaran paling jelas dapat diperagakan pada *dwikutub Hertz* (gambar 3). Ini merupakan sepotong penghantar yang panjangnya sangat kecil jika dibandingkan dengan panjang periode dari gelombang elektromagnet yang terjadi. Besaran yang disebut juga *panjang gelombang* yang diperoleh, jika kecepatan penyebarannya (jalan dalam setiap detik) dibagi oleh frekuensinya (jumlah getaran atau pertukaran arah dalam setiap detik). Jika potongan penghantar ini dialiri oleh arus bolak-balik berfrekuensi tinggi (yang misalnya dapat ditimbulkan di dalamnya secara induksi), maka di sekelilingnya terbentuk medan tukar elektromagnet berfrekuensi tinggi, seperti diperlihatkan dalam gambar 3a. Pelepasan gelombang elektromagnetis dalam jarak kritis r_k dari dasar yang dipaparkan pada halaman 44 diperlihatkan dalam gambar 3b. Suatu rangkaian arus yang berkaitan dengan sifat listriknya (kapasitas) dan sifat magnetnya (induksi sendiri) diselaraskan dengan frekuensi arus bolak-balik, yaitu beresonansi dengan arus tersebut, disebut *rangkaian getaran*. Rangkaian tersebut terdiri atas sebuah kondensator dan sebuah kumparan induksi sendiri. Sekali diberi muatan, kondensator itu melepaskan muatannya melalui kumparan itu energi listriknya berubah menjadi energi magnet. Setelah muatan dilepaskan dari kondensator lenyap pula medan magnetnya dan menginduksikan arus dalam kumparan, yang mengisi kondensator secara terbalik. Andaikata tidak terdapat kehilangan, maka muatan itu akan berayun mondar-mandir secara tidak terbatas. Frekuensi dari ayunan ini dan dengan demikian dari arus bolak-balik yang ditimbulkan adalah makin tinggi, jika kapasitas C dan induksi sendiri L itu makin kecil (gambar 4a). Untuk lamanya berayun T (lamanya suatu periode) berlaku persamaan Thomson: $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$.

Gambar 3a Sistem gelombang bulat (bola) di sekitar dwikutub Hertz

Gambar 3b Pelepasan gelombang

Gambar 3c Dwikutub yang ditanahkan sesisi (antena Marconi)

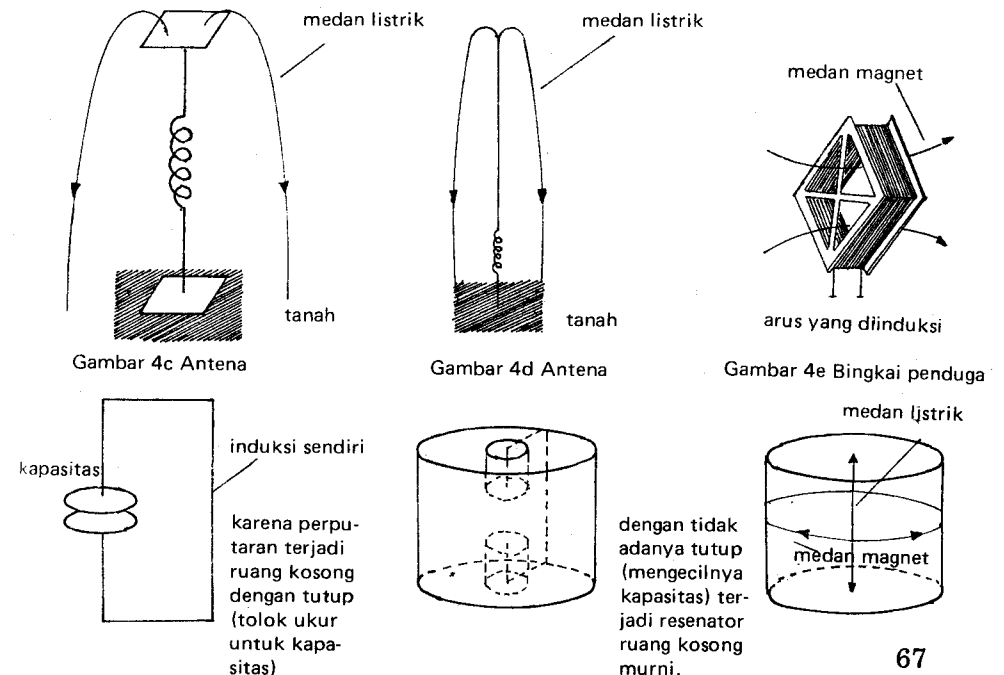
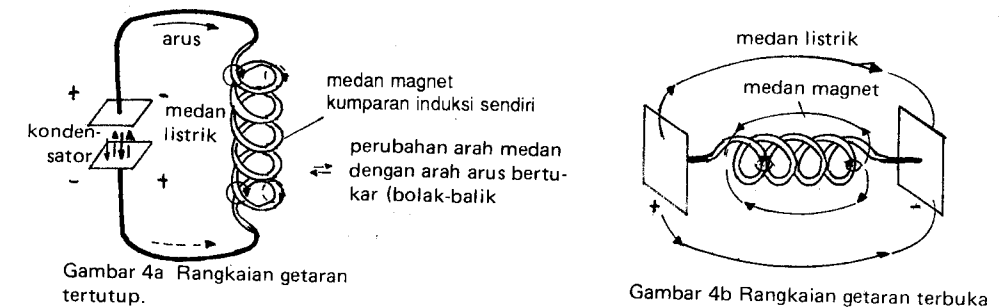
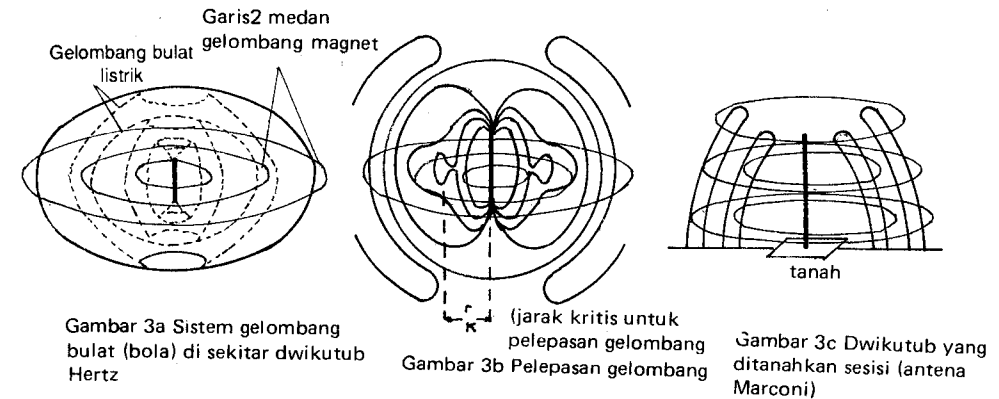
Gambar 4a Rangkaian getaran tertutup.

Gambar 4b Rangkaian getaran terbuka

Gambar 4c Antena

Gambar 4d Antena

Gambar 4e Bingkai penduga

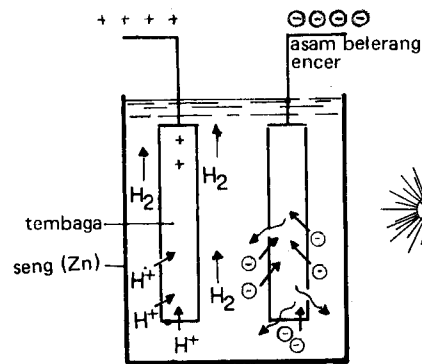
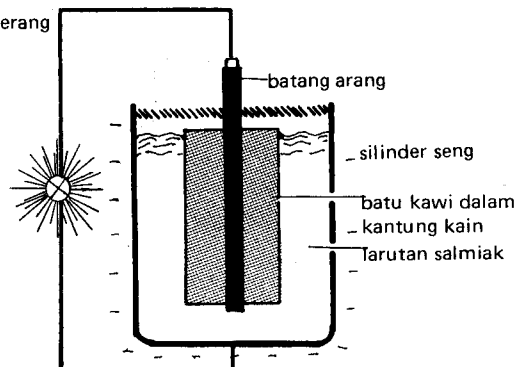
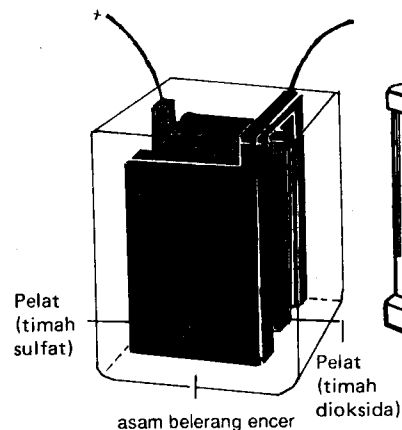
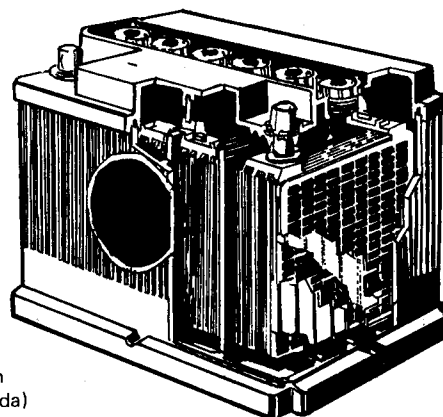
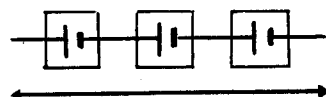
Gambar 4f Ruang kosong sebagai resonator

Dengan membuka kondensatornya (gambar 4b), diperoleh peralihan/perlintasan ke antena (gambar 4c dan 4d). Dalam keadaan ini medan listrik kondensator digunakan untuk memancarkan atau menerima energi elektromagnet dalam bentuk gelombang. Sebuah kumparan yang dibentangkan pada suatu bingkai (bingkai penduga/*penjajag*) dapat digunakan untuk menerima bagian dari medan magnet menurut gambar 3c (gambar 4e). Pada waktu diadakan *penjajagan* bingkai itu diputarkan sedemikian rupa sehingga terjadi perubahan maksimal pada arus magnet.

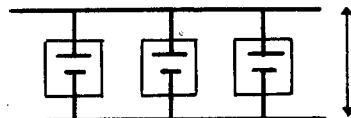
Untuk menghasilkan ayunan/getaran dengan frekuensi tertinggi resonator ruang kosong merupakan unsur pembangunan yang penting. Dalam gambar 4f diperlihatkan bagaimana dapat dibayangkan terjadinya suatu resonator ruang kosong dari rangkaian getaran dengan kapasitas yang terkecil dan induksi sendiri. Dalam hal ini mantel induksi dan tutup kapasitas masing-masing memadai.

Rangkaian getaran digunakan sebagai alat penyesuai, dalam bentuk antena sebagai peralatan untuk penyiaran dan penerimaan bagi energi elektromagnet dalam pemancar dan penerima radio. Karena pemancaran gelombang elektromagnet pada pemancar radio yang rangkaian getarannya senantiasa mengambil energi, jadi meredamnya, maka kepadanya harus terus-menerus dialirkan energi. Hal ini dilakukan dengan menggunakan sebuah *triode* atau sebuah transistor dalam sakelar penghubung belakang. Dengan menggunakan mikrofon yang disambungkan secara tepat, maka gelombang yang dipancarkan diubah (dimodulasi) amplitudo atau frekuensinya. Yang dimaksud dengan modulasi dalam teknik radio adalah bertumpuknya getaran/ayunan pembawa yang ditimbulkan oleh pemancar dengan ayunan arus atau impuls yang harus dipindahkan. Sementara pada modulasi amplitudo jarak ayunan dari ayunan pembawa yang berfrekuensi tinggi itu dipengaruhi, pada modulasi frekuensi ayunan pembawanya berubah seirama dengan berita yang akan dipindahkan. Pada penerima rangkaian getaran itu diselaraskan dengan frekuensi gelombang yang datang, yang energinya dalam rangkaian getaran menimbulkan arus bolak-balik berfrekuensi tinggi yang seirama. Komponen arus bolak-balik berfrekuensi tinggi yang ditumpukkan pada arus searah, setelah didemodulasi (disamakan arahnya) dan diperkuat dialirkan ke *loudspeaker*.

14. Baterai, Akumulator

Jika dua macam logam yang berbeda dicelupkan ke dalam larutan dengan air yang dapat menghantar arus listrik (misalnya asam belerang encer), logam itu mempunyai kecenderungan yang berbeda untuk melarut; dan logam tersebut menerima muatan listrik secara berbeda pula. Berdasarkan peristiwa kimia ini terjadi perbedaan tegangan, karena logam yang satu nampaknya negatif atau positif terhadap yang lainnya. Oleh karena itu menurut Volta dapat disusun suatu deretan tegangan dari berbagai macam logam, yang setiap logam (atau penghantar listrik) yang terdahulu jika dicelupkan ke dalam larutan dalam air nampaknya selalu lebih positif daripada yang berikutnya: arang, emas, perak, tembaga, timah putih, timah hitam, besi, seng.

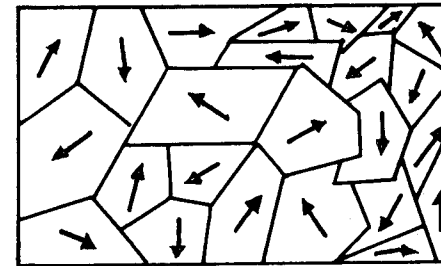
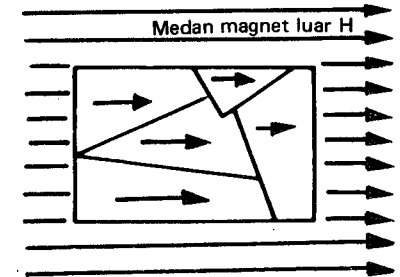
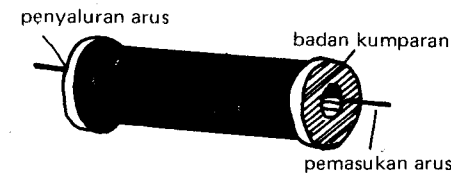
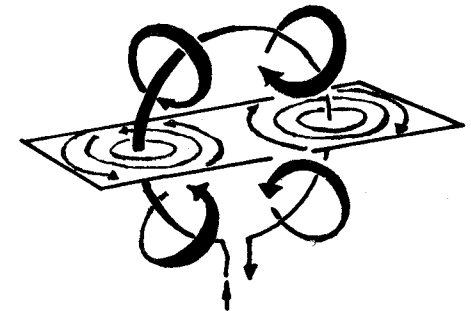
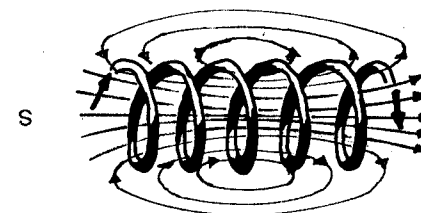
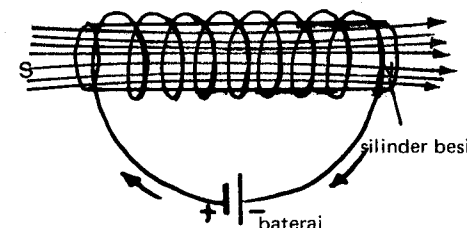
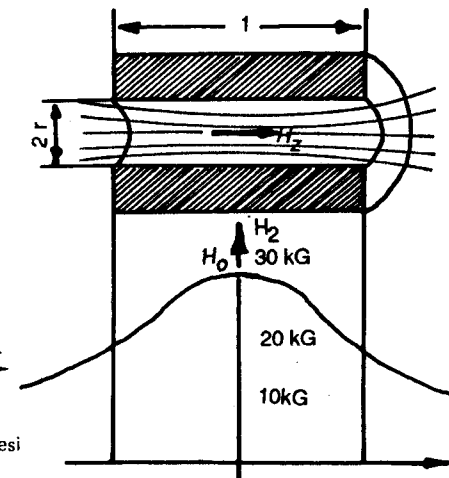
Kombinasi antara dua logam dalam larutan air untuk memperoleh energi listrik dari energi kimia dinamakan *elemen galvano.* Pada elemen Volta (gambar 1) dicelupkan tembaga (+) dan seng (—) dalam asam belerang encer. Kalau seandainya pada kutub dihubungkan lampu pijar, maka mengalirlah arus litrik. Rangkaian arus yang di luar melalui lampu pijar, di dalamnya di tutup/disambung oleh cairan yang dapat menghantar listrik, yang disebut elektrolit. Arus di bagian dalam elemen menimbulkan lapisan gas pada elektrodenya (polarisasi), yang mempertinggi tahanan di dalamnya dan oleh karenanya menurunkan tegangan listrik yang diperoleh secara kimia dan demikian pula pemanfaatan arus sebanyak-banyaknya. Terutama zat air yang terbentuk pada kutub positif (anoda) yang harus dilenyapkan. Hal ini terjadi pada elemen salmiak (gambar 2) dengan menggunakan campuran batu kawi (manganoksida) dan grafit sebagai depolarisator, yang menutupi anoda arang (dibungkus dengan kantong lain). Elemen semacam itu di masa sekarang kadang-kadang masih digunakan dalam peralatan bel. Elemen tersebut terdiri atas suatu anoda dari arang dengan depolarisator, suatu kutub negatif (katoda) dari seng dan larutan sal-

Gambar 1 Elemen Volta

Gambar 2 Elemen salmiak

Gambar 3: Akumulator (prinsip)

Gambar 4 Bentuk pelaksanaan teknik dari sebuah akumulator (baterai mobil)

tegangan lipat tiga, pemanfaatan arus sekali

Gambar 5 Penyambungan berturut (seri)

tegangan sekali, pemanfaatan arus tiga lipat

Gambar 6 Sambungan paralel

miak (amoniumklorida) sebagai elektrolit. Tegangan dari elemen salmiak kira-kira 1,3 Volt. Besarnya elemen tidak mengubah tegangannya, namun mempunyai pengaruh yang menentukan pada kekuatan arus yang dapat diperoleh daripadanya. Dalam cara bekerjanya energi kimia yang berubah menjadi energi listrik, diperoleh karena sengnya larut ke dalam larutan. Oleh karenanya elektrode seng itu terurai. Reaksi ini tidak dapat dibalikkan (dimundurkan). Oleh karena itu elektrode seng itu sewaktu-waktu harus diperbarui. Juga depolarisatornya bisa habis terpakai dan sekali-sekali perlu diganti. Elemen yang elektrodenya habis terpakai, dinamakan elemen primer, berlawanan dengan elemen sekunder, yang dengan pengaliran energi listrik (diberi muatan, diisi) keadaan semula dapat dipulihkan lagi, jadi elektrodenya dihidupkan kembali. Elemen semacam itu disebut akumulator. Lazimnya akumulator itu terdiri atas pelat timah hitam di dalam larutan asam belerang encer (gambar 3 dan 4). Pada pelat itu terbentuk lapisan sulfat timah. Pada waktu elemen diisi lapisan pada pelat anoda diubah menjadi dioksida timah yang berwarna coklat, sedangkan katodanya direduksi menjadi timah yang berwarna abu-abu kembali. Energi listrik diubah menjadi energi kimia. Elektrode timah dan dioksida timah bekerja sama dengan elektrolit sebagai *elemen Galvano.* Di sini terjadi pengubahan kembali dari energi kimia yang tertimbun (diakumulasi) menjadi energi listrik (pelepasan, pengosongan). Akumulator banyak digunakan dalam teknik. Kecuali akumulator timah dikenal juga akumulator-besi-nikel dengan kaliumhidroksida sebagai elektrolit. Akumulator timah mempunyai tegangan kira-kira 2 Volt, akumulator-besi-nikel kira-kira 1,36 Volt. Baik elemen primer maupun elemen sekunder dibuat juga sebagai yang disebut "elemen kering". Elemen ini berbeda dengan yang diuraikan di atas, karena elektrolitnya dikentalkan menjadi tapal (pasta). Tegangan yang lebih tinggi diperoleh dengan merangkaikan elemen tersebut berturut-turut ke belakang (gambar 5). Dan untuk menghasilkan arus lebih besar dengan merangkaikan elemen itu secara paralel (gambar 6) — Semua elemen menghasilkan arus searah, yaitu suatu arus listrik yang mengalir secara konstan dalam arah yang sama (berlawanan dengan arus bolak-balik).

15. Elektromagnet

Cara bekerjanya magnet besi berdasarkan pada pengarahan sebagian dari daerah kecil yang terkena magnet di bagian dalamnya, yang disebut daerah (sirkuit) Weiss. Karena pengarahan ini dengan suhu yang naik selalu menjadi lebih sukar, dalam suhu kamar hanya diperoleh medan magnet yang besarnya beberapa kG (auss) saja. Medan magnet yang lebih kuat hanya dapat diperoleh dengan elektromagnet. Hal ini disebabkan oleh suatu arus listrik yang menimbulkan medan magnet di sekitarnya. Jika kawat tembaga yang terisolasi digulung dalam gulungan yang sejalan dengan sekrup (spiral) selapis atau dalam beberapa lapisan yang ditumpukkan pada pipa kaca pleksi (gambar 3), dan kemudian dialirkan arus searah melalui kawat itu, maka terjadilah sebuah elektromagnet, karena setiap gulungan kawat masing-masing dapat dianggap sebagai penghantar yang berbentuk lingkaran, medan magnet dari kumparan kawat yang dialiri arus semacam itu dapat dianggap sebagai posisi paling tinggi dari medan magnet yang terdiri atas semata-mata arus lingkaran (gambar 4): Di bagian dalam dari kumparan keadaannya cukup homogen, yaitu di mana-mana sama kekuatan dan arahnya (gambar 5) dan tepatnya di suatu daerah yang makin besar saja, makin panjang kumparan itu (dan makin rapat saja gulungannya. Kekuatan medan magnet H di sini mempunyai nilai terkuat: $H = N \cdot \frac{N}{I} = n \cdot I$ (dalam A/cm), I adalah kekuatan arus (dalam Ampere), 1 adalah panjangnya kumparan (dalam cm), N adalah jumlah gulungan seluruhnya atau $n = \frac{N}{1}$ jumlah gulungan untuk setiap cm. Garis medan magnet jalannya di sini hampir lurus dan sejajar antara sesamanya. Di luar kumparan mereka saling menjauhi, sehingga dengan bertambah jauh jaraknya medan magnet itu dengan cepat makin menjadi lemah. Semua garis kekuatan dari medan magnet sebuah kumparan adalah tertutup di dalamnya (gambar 5). Medan di ruang luar serupa dengan medan sebuah magnet tetap yang berbentuk batangan; kutub selatan dari elektromagnet ini terletak pa-

Gambar 1 Daerah Weiss dari suatu bahan polikristalin, yang bertabiat sebagai magnet kecil, panahnya menunjukkan arah medannya.

Gambar 2 Kejenuhan feromagnet : Semua daerah Weiss adalah berarah sejajar dengan medan magnet luar.

Gambar 3: Kumparan magnet

Gambar 4 Medan arus lingkaran

Gambar 5 Garis medan magnet (garis kekuatan) dalam kumparan magnet yang dialiri (diliputi) arus.

Gambar 6 Elektromagnet dengan inti besi

Gambar 7 Jalannya medan dalam sebuah kumparan (*Hz* kekuatan medan dalam arah-z)

da sisi yang jika dilihat dari situ arus dalam kumparan itu mengalir searah dengan jarum jam (gambar 5).

Segera setelah medan magnet meliputi sesuatu zat/bahan, selain kekuatan medan magnet H, harus juga diperhatikan induksi magnet $B = \mu H$, agar dapat diuraikan: Induksi itu di mana-mana mempunyai arah yang sama seperti H, namun berbeda dari kekuatan medan magnet dengan adanya faktor μ, yaitu permeabilitas (sifat dapat ditembus) relatifnya. Untuk udara permeabilitas ini seperti juga zat paramagnetis hanya agak sedikit lebih besar daripada satu, sedang untuk bahan kerja feromagnetis sangat tergantung pada kekuatan medan dan dapat mencapai nilai yang berkisar antara 10^3 hingga 10^4. Ia merupakan ukuran untuk mempertinggi jumlah garis medan magnet di dalam suatu bahan sebagai akibat pengarahan magnet elementer tertentu (dalam besi ini merupakan daerah Weiss). Maka jika ke dalam bagian dalam sebuah kumparan disorongkan sebuah silinder dari besi lunak yang padat tidak berongga atau kawat tembaga itu dililitkan mulai dari bagian mukanya pada silinder besi tersebut — dan sekarang dialirkan arus melalui lilitan itu, maka silinder besi itu menjadi sebuah magnet yang kuat selama dialirkan arus: Karena pengaruh magnetis dari arus dengan kekuatan arus yang menurut perbandingan adalah kecil, sudah terarahkan banyak sekali daerah Weiss dalam batang besi. Kita sekarang menghadapi elektromagnet dengan inti besi (gambar 6). Karena dalam inti besi itu induksi magnetisnya μ-kali lebih besar daripada medan yang dihasilkan kumparan, dan garis induksi magnetis itu kesemuanya tertutup di dalamnya, maka induksi magnetis di luar inti besi itu serta merta mempunyai nilai yang sama seperti yang di dalam inti besi sebelum bidang ujungnya (bidang kutub). Namun karena permeabilitas udara bernilai $\mu = 1$, maka sesuai dengan hubungan $B = \mu H$, juga kekuatan medan magnet pada tempat ini sangat besar. Dengan mempertinggi kekuatan arus dan demikian juga medan magnet kumparannya terarahkan lebih banyak lagi daerah Weiss dalam inti besi, sehingga akhirnya terarahkan semuanya (gambar 2): Maka tercapailah kejenuhan magnetis, dalam hal mana permeabilitas relatif dari besi turun menjadi nilai satu, dan oleh karena itu medan magnet yang dihasilkan kumparan dan induksi magnetik dalam besi itu sama besarnya. Kekuatan medan yang tercapai dalam keadaan jenuh itu besarnya kira-kira 2400 ka/m.

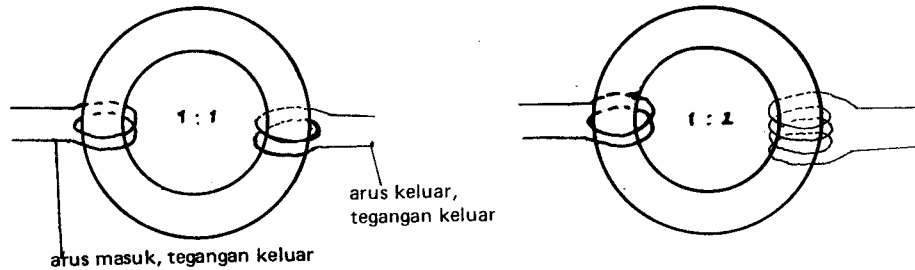
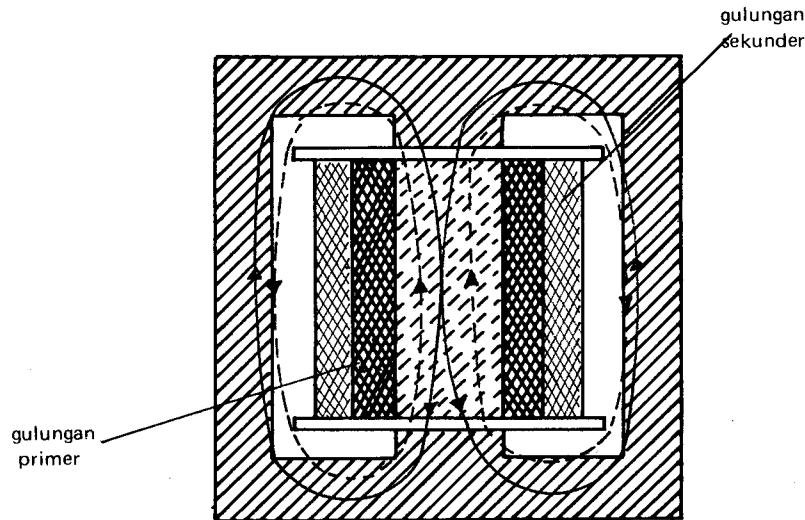
16. Transformator

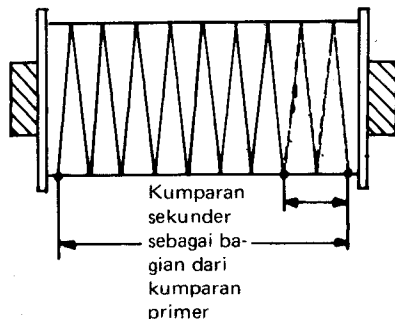
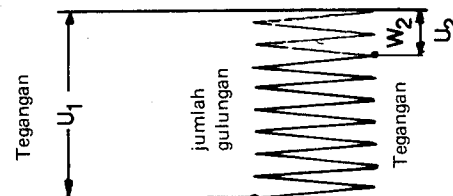
Transformator (pengubah, penukar tegangan) di satu pihak digunakan untuk mengganti arus bolak-balik atau arus putar menjadi bertegangan tinggi, agar dalam penyaluran melalui jarak jauh kerugian tegangan secara relatif dapat ditekan ke bawah, di pihak lain untuk menurunkan tegangan di tempat pemakaiannya.

Dasar fisika dari cara bekerja transformator itu dapat dicari dalam hukum induksi Faraday yang mengatakan bahwa pada perubahan arus magnetis melalui pita penghantar dalam pita ini timbul arus listrik yang sebanding dengan kecepatan perubahannya (arus induksi, tegangan induksi). Jika perubahan arus magnetis itu diperoleh dengan menggunakan elektromagnet yang ditimbulkan oleh arus bolak-balik (kumparan primer dari transformator), maka dalam sebuah kumparan kedua yang dialiri medan tukar magnetis dapat diperoleh energi listrik (kumparan sekunder dari transformator). Pengubahan itu terjadi dengan daya hasil yang sangat tinggi (98—99%), karena sebagai kehilangan energi satu-satunya pada arus bolak-balik berfrekuensi rendah hanya terjadi pemanasan inti besi yang menerima aliran magnetis, karena arus yang berpusar. Dengan pemberian lamel pada inti besi itu kehilangan energi ini dapat juga diturunkan secara drastis. Dalam keadaan yang ideal berlaku: $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ (tegangan masuk x arus masuk = tegangan keluar x arus ke luar). Perbandingan jumlah lilitan dari kumparan yang dihubungkan secara induktif melalui sebuah inti besi (gambar 1).

Untuk meninggikan tegangan, kumparan sekunder dari transformator mempunyai lebih banyak lilitan daripada kumparan primer. Di sekitar para pemakai tenaga listrik tegangan tinggi yang datang diubah menjadi tegangan rendah dalam gardu transformator. Transformator yang digunakan untuk keperluan tersebut mempunyai kumparan primer dengan jumlah lilitan yang besar, sebaliknya jumlah lilitan kumparan sekundernya kecil. Maka dalam jaringan

Tegangan masuk: tegangan keluar = 1 : 2

Arus masuk: arus keluar = 2 : 1

Gambar 1 Transformator berinti cincin

Gambar 2 Transformator inti

Medan tukar magnet secara luas tetap berada dalam besi dan mengakibatkan induksi listrik dalam gulungan sekunder.

Gambar 3a Transformator penghemat

Gambar 3b Gambar hubungan pokok dari sebuah transformator penghemat.

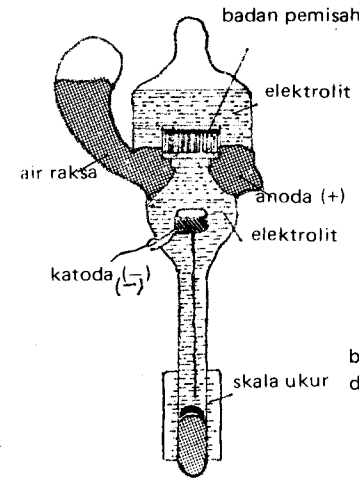
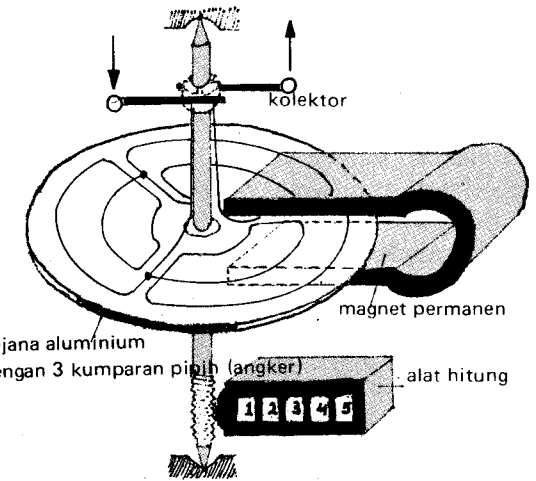
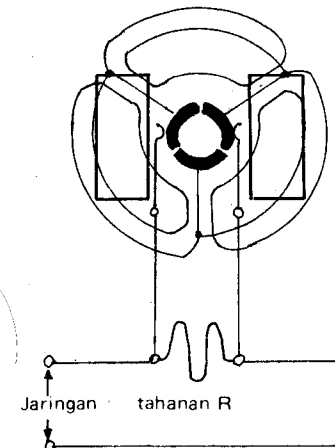
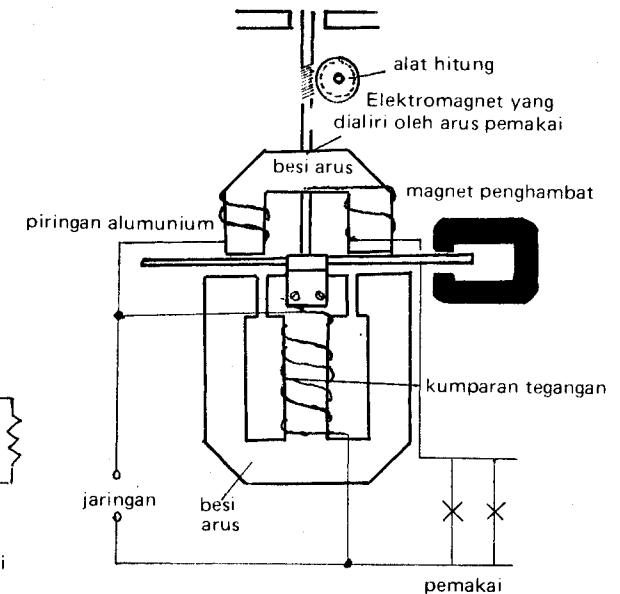
pembagian dalam sebuah kota biasanya tegangan itu diubah ke bawah menjadi 6.000 V dan kemudian melalui transformator yang ditempatkan menurut daerahnya masing-masing, sesuai dengan keadaan juga melalui transformator tersendiri dalam setiap rumah, dijadikan tegangan baku sebesar 220 V. Juga berbagai peralatan bel mengambil listriknya dari jaringan yang telah didasarkan pada patokan tersebut, dan tepatnya melalui suatu transformator bel, yang pada umumnya menghasilkan tegangan penggerak sebesar 4 — 8 Volt.

Bentuk transformator dalam pelaksanaannya dengan kuk besi tertutup untuk arus bolak-balik diperlihatkan gambar 2. Dalam gambar 3a dan 3b dilukiskan sebuah transformator dalam hubungan "hemat". Cara membuatnya kedua gulungan tidak terpisahkan secara galvano. Transformator semacam ini hanya mempunyai satu gulungan, yang disadap pada suatu tempat. Karena penghematan gulungan sekunder tersendiri dan sebagian dari kehilangan panas arusnya, maka transformator ini disebut transformator hemat. Kumparan penyala dari alat penyala (*starter*) dari sebuah kendaraan bermotor bekerja menurut asas ini. Karena di situ suatu tegangan yang rendah harus diubah menjadi tegangan pencetus/penyala yang tinggi, maka tegangan penyala itu diambil dari seluruh panjangnya gulungan, namun tegangan rendahnya ditaruh pada kumparan yang disadap.

17. Penghitung Tenaga Listrik (Pengukur Kerja)

Untuk mengukur kerja listrik, yang kita peroleh untuk tujuan industri dan rumah tangga dari pembangkit listrik, diperlukan penghitung tenaga listrik guna perhitungan yang tepat. Kerja/usaha pada arus searah adalah A = U . I . t; pada arus bolak-balik satu fase: A = U . I . t. cos φ, di sini U berarti tegangan listrik, I adalah arus listrik, cos φ faktor hasil usaha pada arus bolak-balik dan t adalah waktu. Pada arus searah usaha itu dapat ditentukan dengan menentukan nilai I . t, yaitu dengan menggunakan penghitung Ampere-jam, sejauh tegangan U dalam jaringan dibuat tetap konstan. Dalam jaringan arus bolak-balik dan arus putar dalam pada itu hanya digunakan penghitung Watt-jam.

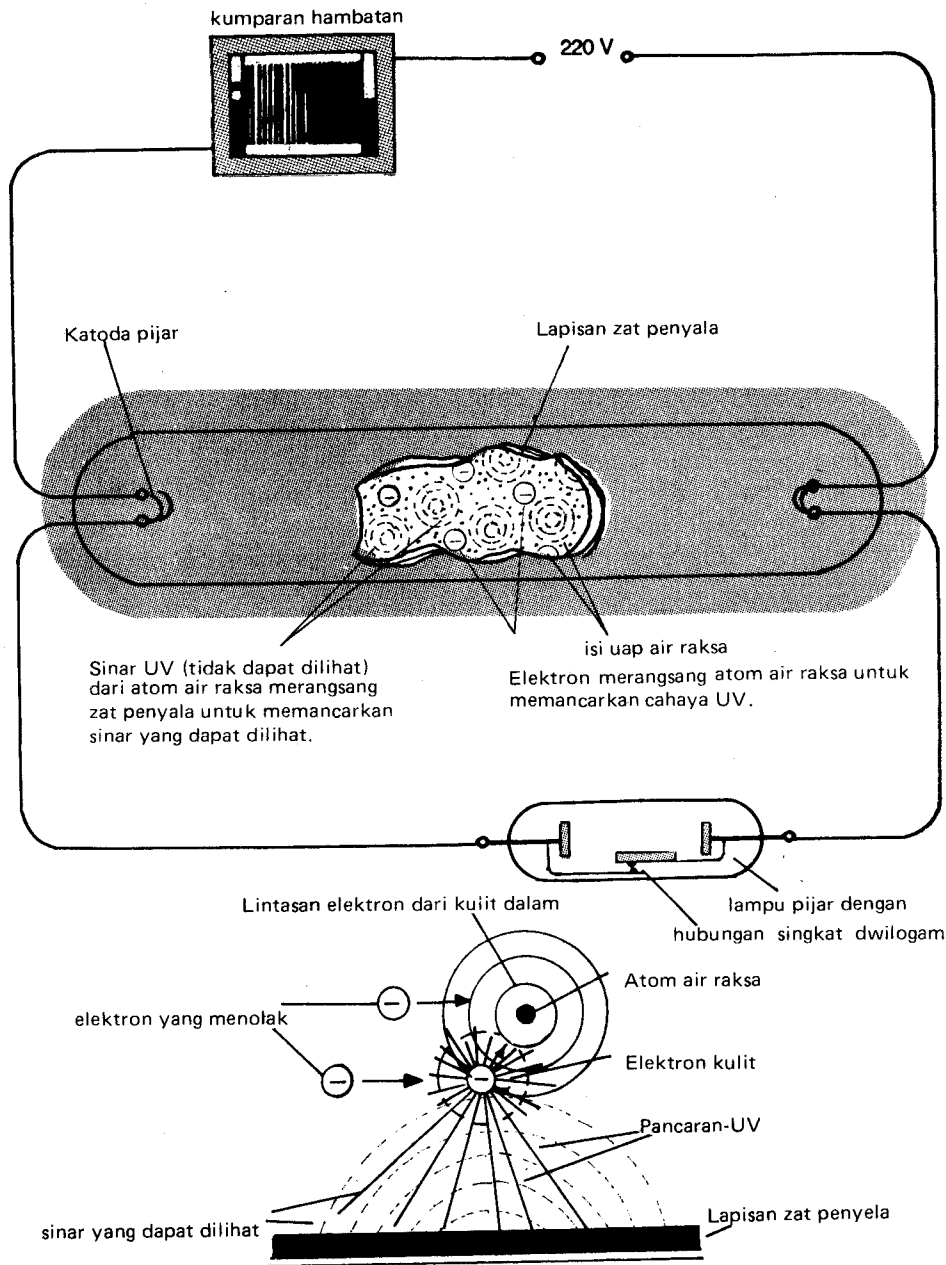
Gambar 1 memperlihatkan sebuah penghitung elektrolitis (penghitung Stia) yang hanya dapat digunakan untuk arus searah. Penghitung tersebut sekarang praktis hanya mempunyai arti sejarah belaka. Dalam sebuah tabung kaca yang tertutup terdapat larutan garam air raksa sebagai elektrolit. Larutan itu dialiri oleh sebagian dari arus yang dipakai, sehingga pada katoda telah memisahkan diri sejumlah air raksa yang sebanding besarnya dengan I . t. Air raksa itu mengumpul di bagian bawah tabung. Skala ukurnya langsung dibagi-bagi ke dalam kWh. Setelah sebuah plombirnya dilepas, air raksa yang memisahkan diri itu dapat dikembalikan ke dalam ruang atas.

Gambar 2 memperlihatkan motor penghitung Ampere-jam, yang menggambarkan sebuah motor-arus-searah kecil. Anker aluminium yang berbentuk keping bulatan tipis yang berada dalam medan magnet dari sebuah magnet permanen, mengandung tiga kumparan, yang memperoleh arusnya dari kolektor yang terbagi menjadi tiga. Kolektor ini mengatur arah arus itu sedemikian rupa sehingga ankernya berputar terus-menerus. Arus yang dialirkan melalui sikat logam mulia kepada kolektor dan dengan demikian kepada kumparannya, karena dibuat bercabang oleh tahanan (hambatan) berangkai di dalam rangkaian pemakai (lihat gambar

Gambar 1 Alat hitung elektrolitis

Gambar 2a Alat hitung meter magnet dalam skema

Gambar 2b Rencana hubungan dari sebuah alat hitung motor magnet

Gambar 3 Alat hitung induksi

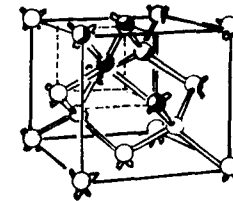
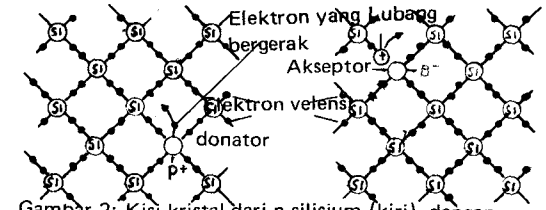
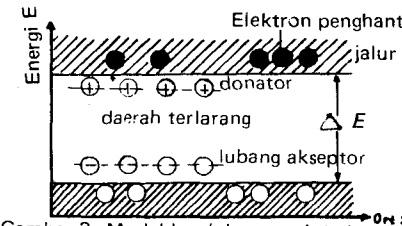
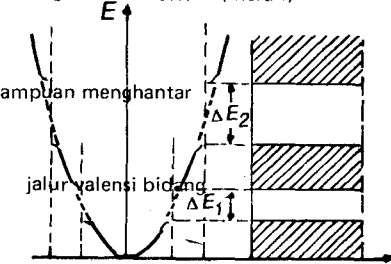
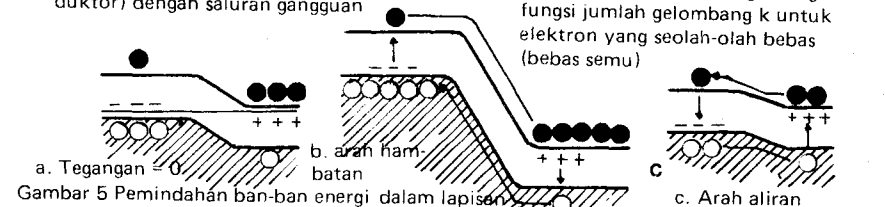
2b), menjadi sebanding dengan arus pemakaian. Karena kekuatan medan dari magnet permanen itu konstan, maka jumlah putaran dari anker sebanding dengan kekuatan arus. Alat penghitung yang berada pada poros anker yang dapat memindahkan putaran anker pada alat tersebut, mencatat putaran itu yang sama dengan hasil perkalian I . t. Jika sebagai pengganti magnet permanen dipasangkan sebuah kumparan yang menghasilkan medan magnet itu, dan jika pada kumparan ini dihubungkan tegangan pemakaian U (atau dengan sebelumnya menghubungkan hambatan tegangan yang sebanding dengan U), maka jumlah putaran dari alat penghitung sebanding baik dengan U maupun dengan I dan dengan demikian dengan produk U . I. Alat penghitung itu dengan demikian mencatat langsung usahanya U . I . t. Namun dari penghitung Ampere-jam itu telah menjadi penghitung Watt-jam.

Pada arus bolak-balik sekarang umumnya digunakan apa yang disebut penghitung induksi, yang sama sekali tidak memerlukan kolektor (gambar 3). Penghitung tersebut mempunyai dua elektromagnet. Kumparan dari magnet yang satu dialiri arus pemakaian, pada kumparan yang lain terletak tegangan pemakaian. Jadi yang pertama oleh *arus pemakaian* dihasilkan suatu arus tenaga, sedang yang kedua terjadi yang sama oleh *tegangan pemakai.* Jika arus dan tegangan pada pemakai berada dalam fase maka arus dari kumparan tegangan dan dengan demikian medan dari besi-tegangan akan ketinggalan sebanyak seperempat periode (90°) di belakang arus dari kumparan arus dan demikian pula medan besi-arusnya. Oleh karena itu dibuat suatu medan yang bergerak, yang dalam kepingan logam yang dapat berputar menginduksikan arus berputar, yang berusaha untuk memutarkan kepingan (bulatan) dalam arah gerakan medan pengembaraannya. Jumlah putaran dari kepingan itu sebanding dengan kekuatan medan dari kedua medan, juga dengan arus dan tegangan. Namun hal itu tergantung pula pada pergeseran fase dari keduanya (dan dengan demikian pada faktor hasil usaha cos φ). Hal ini dapat dimengerti jika kita membayangkan keadaan, ketika pemakai mengakibatkan pergeseran fase sebesar 90° antara U dan I (cos $\varphi = 0$); maka kedua medan magnet menjadi sefase, sehingga kepingan logam itu tidak dapat berputar lagi. Magnet pengerem yang tergambar di sebelah kanan dalam gambar 3 menghasilkan dalam kepingan tersebut secara terus-menerus arus berputar yang menghambat gerakan kepingan dan yang ketika tidak adanya arus pemakai menjamin dapat dihentikannya secara serentak.

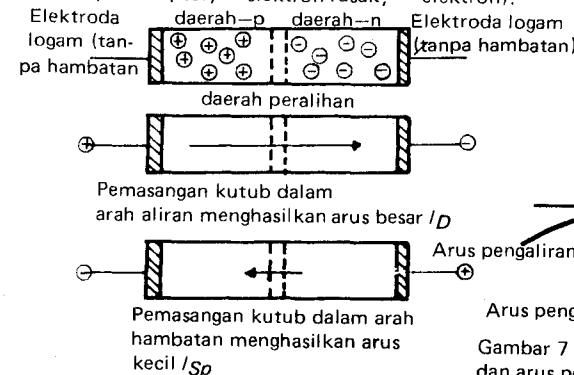
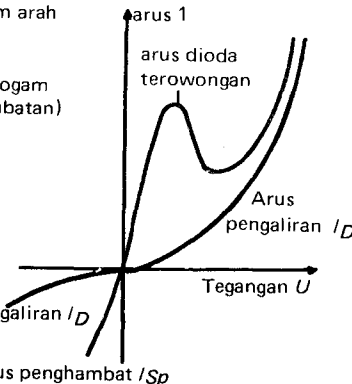
18. Lampu Neon

Tabung nyala adalah tabung yang di dalamnya terjadi pelepasan muatan listrik melalui gas, yang pemanfaatan sinarnya dengan usaha tersendiri ditingkatkan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk penerangan. Tabung atau pipa yang terbuat dari kaca, pada bagian dalam dindingnya dilapisi dengan zat penyala; lapisan ini kebanyakan terdiri atas garam logam yang menimbulkan fluorisasi atau fosforisasi (kalsiumwolframat, sengsulfida, sengsilikat). Kemudian tabung itu diisi dengan uap air raksa sebanyak beberapa mikrobar (μ-bar). Elektron yang keluar dari elektrode pijar merangsang dengan tolakan atom air raksa itu untuk memancarkan kira-kira 60% sinar ultraviolet (UV) yang tidak dapat dilihat. Bagian dari sinar uap air raksa yang dapat dilihat terletak di daerah hijau dan biru dari spektrum dan menimbulkan sinar yang pudar. Sinar UV jatuh pada zat penyala pada dinding dalam tabung. Zat ini menyerap sinar itu dan sebagai gantinya memancarkan sinar dengan gelombang lebih panjang, *yaitu zat penyala mengubah sinar yang tidak terlihat menjadi sinar yang dapat dilihat.* Dengan pemilihan zat penyala yang cocok sinar lampu zat penyala itu dapat diberi warna apa saja yang dikehendaki. Untuk menyalakan lampu dibutuhkan sebuah peredam (starter) yang mencegah penambahan kekuatan arus yang berbahaya, dan mengatur penyalaannya. Untuk maksud tersebut digunakan sebuah lampu pijar kecil yang dirangkaikan paralel dengan suatu kontak termis. Jika dihubungkan lampu pijar itu pertama-tama menyala (pada kontak dwilogam termis yang terbuka). Karena itu jalur dwilogam itu menjadi panas, menimbulkan hubungan singkat pada lampu pijar, memijarkan katoda pijarnya dan terputus lagi, karena menjadi dingin. Pemutusan dengan menggunakan starter itu menimbulkan suatu dorongan/tolakan tegangan yang cukup untuk menyalakan lampu neon itu sendiri. Lampu pijar kecil itu tidak menyala lagi karena penutup samping pada lampu. Jalur dwilogam membiarkan kontak

termisnya terbuka. Katoda pijarnya berpijar terus karena pemanasan balik (tolakan balik dari ion air raksa positif) dan proses memperoleh sinar yang dapat dilihat seperti yang diuraikan di atas berlangsung terus. Karena dalam menyalakan lampu neon tidak mempersoalkan sinar yang dipancarkan oleh benda yang berpijar (misalnya kawat pijar pada lampu pijar), melainkan penyalaan atom dengan rangsangan (uap air raksa dan lapisan zat penyala), penggunaan sinarnya luar biasa hematnya. Karena lebarnya bidang nyala lampu zat penyala (neon) itu menghasilkan cahaya yang menyenangkan (sejuk) dan bayangan yang dibuatnya sangat lemah.

19. Semipenghantar (Semikonduktor) I

Yang disebut *semipenghantar* adalah zat yang pada suhu rendah bertahan, yaitu tidak mempunyai daya hantar, sebaliknya dengan naiknya suhu makin kuat saja dapat menghantar arus, namun pada suhu kamar baru mempunyai daya hantar yang besarnya 10^5 kali lebih kecil daripada logam. Daya hantar dari semipenghantar yang bertambah secara eksponensial dengan suhu disebabkan oleh di dalamnya elektron valensi dari atom yang menjadi penyebab dari ikatan kimia dari atom itu terhadap kisi kristal pada hakikatnya masih selalu jauh lebih kuat ikatannya daripada terhadap logam, namun tidak begitu kuat seperti pada penyekat (isolator) terhadap atom, sehingga pada kenaikan suhu atau pengaruh panas, tetapi juga karena pengaruh penyinaran, makin banyak saja ikatan *homöopolare* (kutub sejenis) yang terlepas dan elektron menjadi bebas, yang kemudian seolah-olah dapat bergerak secara bebas dalam kisi kristal (gambar 1 dan 2). Contoh penting untuk bahan semipenghantar adalah unsur silisium (Si) dan germanium (Ge), tetapi juga persenyawaan unsur dari kelompok/golongan utama III dan V dalam sistem periodik unsur kimia seperti misalnya indiumantiomonida (InSb). Jadi dengan memasukkan atom asing dengan valensi lebih kecil atau lebih tinggi ke dalam kisi kristal, maka daya hantar semipenghantar dapat diubah dengan sengaja secara luas sekali. Yang disebut *donator* (pemberi elektron) di sini adalah atom asing, yang dengan memberikan elektron (yang negatif) memperbesar aliran atom (aliran n) atau sama sekali baru menggerakkannya; dan sebaliknya yang disebut akseptor (penerima elektron) adalah atom semacam itu yang mengikat elektron dan dengan demikian mengurangi aliran n tersebut atau mengakibatkan timbulnya apa yang disebut aliran p dari pembawa muatan positif yang disebut *lubang* atau *atom rusak* (lihat bawah). Dalam silisium dan germanium atom dari golongan utama III (misalnya borium) dapat dengan mudah dimasukkan sebagai akseptor dan atom dari golongan utama V

Gambar 1: Struktur kristal suatu zat yang semi penghantar (listrik)

Gambar 2: Kisi kristal dari n silisium (kiri), dengan dilimpahi atom fosfor (merah), dan dilimpahi p silisium (kanan) dengan atom borium (merah)

Gambar 3: Model ban/pita energi dari sebuah semi penghantar (semi-konduktor) dengan saluran gangguan

Gambar 4 Jalannya energi sebagai fungsi jumlah gelombang k untuk elektron yang seolah-olah bebas (bebas semu)

Gambar 5 Pemindahan ban-ban energi dalam lapisan hambatan pada perubahan tegangan luar U untuk peralihan p-n; a) keadaan tanpa arus, b) **pemasangan** kutub dalam arah hambatan, c) pemasangan kutub dalam **arah pengaliran** (+ donator, – akseptor, ○ elektron rusak, ● elektron).

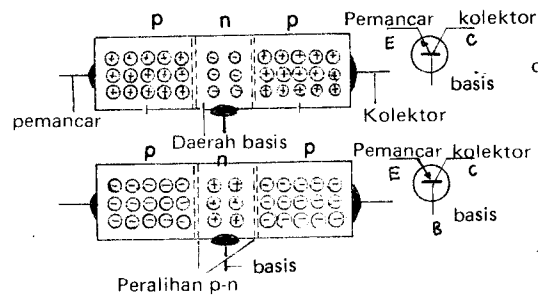
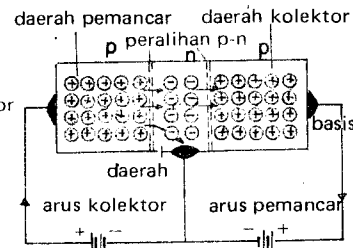
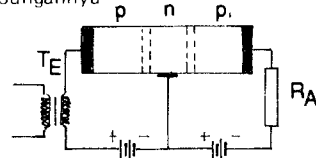
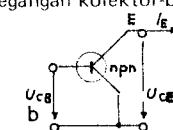
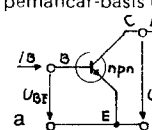
Pemasangan kutub dalam arah aliran menghasilkan arus besar I_D

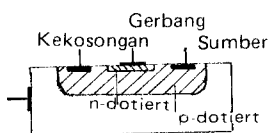
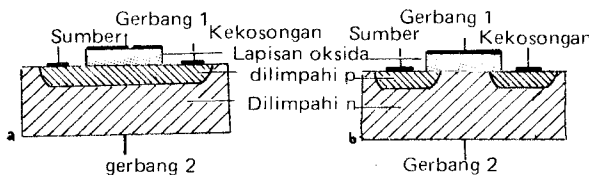
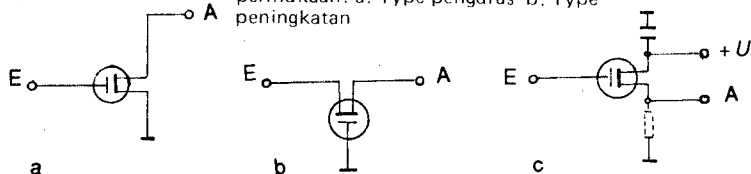
Pemasangan kutub dalam arah hambatan menghasilkan arus kecil I_{Sp}

Gambar 6 Dioda setengah penghantar

Gambar 7 Arus penghambat I_{Sp} dan arus pengaliran I_D dalam dioda semi penghantar.

(misalnya fosfor) sebagai donator dengan konsentrasi yang berubah-ubah (*pelimpahan*). Daya hantar dari kristal silisum yang telah dilimpahi borium, yang pada 10^5 atom silisium terdapat 1 atom borium pada suhu kamar kira-kira 1.000 lebih besar daripada daya hantar kristal silisium murni.

Hal ihwal dalam semipenghantar paling baik dapat ditinjau dalam apa yang disebut *model jalur energi*, yang tinggi energi benda padat digambarkan dalam ketergantungannya pada tempat (Gambar 3; digambarkan dengan pemuaian memanjang x) atau dari jumlah gelombang k dari elektronnya (gambar 4). Semua tingkat energi sedikit banyaknya membuat *jalur energi* yang lebar, yang pada umumnya sedikit banyak terpisah oleh jalur terlarang yang lebar (kekosongan energi), namun juga dapat saling bertindihan. Sementara dalam logam elektron valensinya secara tidak penuh mengisi apa yang disebut *jalur valensi*-nya, dan oleh karenanya mudah dapat dirangsang ke dalam keadaan bebas atau *tingkat energi* bebas, dalam semipenghantar dan isolator elektron itu mengisi jalur valensi itu sepenuhnya. Baru kalau dialiri energi sebesar E dari kekosongan-energi antara jalur valensi dan jalur daya hantar (pada silisium 1,4 eV, pada germanium 0,67 eV, pada indiumantimonida hanya 0,23 eV) elektron itu mencapai jalur daya hantar, di situ dapat bergerak bebas dan menghasilkan suatu saluran n. *Kekosongan* atau *lubang* (elektron yang rusak) yang tinggal dalam jalur valensi berperilaku sebagai pembawa muatan positif yang seolah-olah bebas dan menghasilkan saluran p. Pemasukan donator menghasilkan tingkat energi yang memberi elektron dekat di atas jalur valensi. — Karena dari kedua jenis saluran tidak ada yang pernah didapati sendiri, pembawa muatan yang terdapat dalam jumlah terbanyak dan dengan demikian menentukan jenis saluran yang dinamakan *pembawa mayoritas*, yang terdapat dalam jumlah yang lebih kecil *pembawa minoritas*. — jika sekarang dalam kristal semipenghantar sebagai akibat dari pelimpahan yang disengaja daerah saluran n dan saluran p bertumbukan, maka pada bidang batas terjadi suatu jalur yang kekurangan pembawa muatan dari kedua tanda (+ dan —), yaitu suatu lapisan hambatan/tahanan listrik (lapisan perintang) yang tinggi (gambar 5). Tergantung dari cara mengutupkan tegangan yang diterapkan, hambatan dari peralihan p—n yang kira-kira 0,1 μm lebarnya ini, diperbesar (arah rintangan) atau diperkecil (arah aliran). Cara kerja katup ini digunakan dalam unsur pembuatan semipenghantar.

Semipenghantar (Semikonduktor) (II)

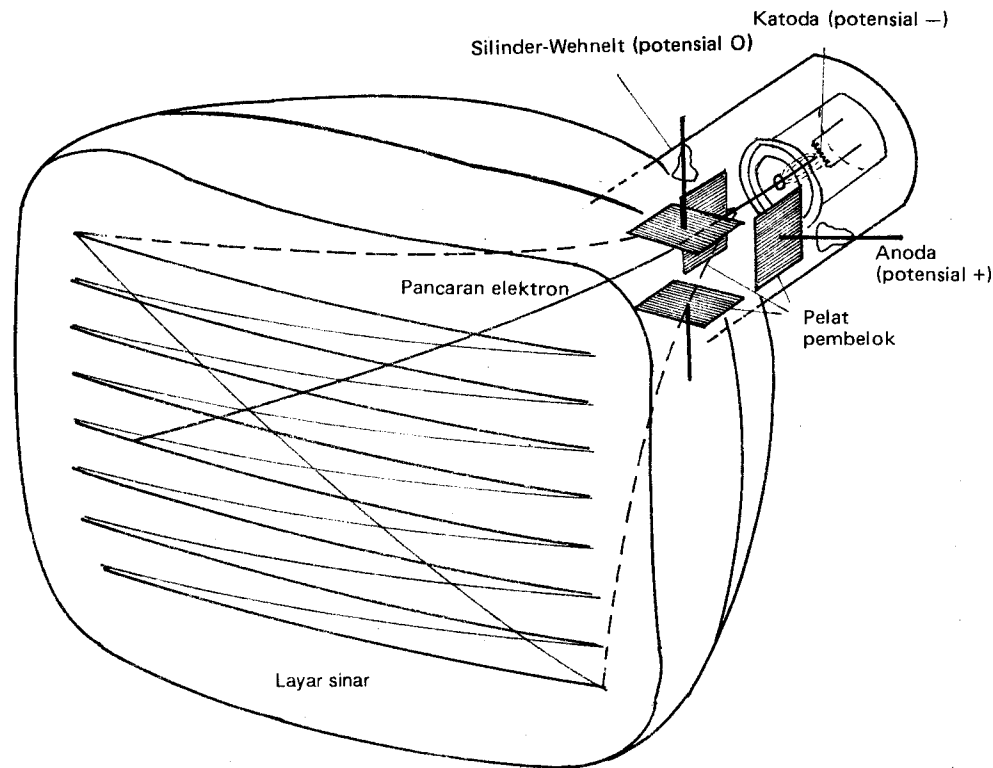
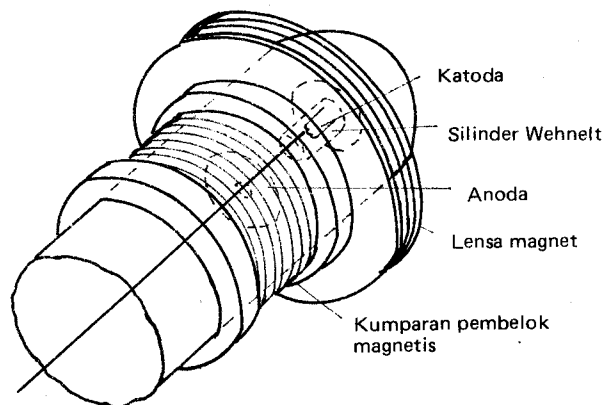
Yang disebut *unsur pembangun semipenghantar* adalah bagian dari kelompok pembangun elektronis, yang sifatnya ditentukan dengan menggunakan bahan kerja yang bersifat semipenghantar arus listrik. Keuntungannya terutama terletak dalam tegangan kecil untuk mengerjakannya dan hasil kerjanya pun kecil, demikian pula karena tidak membutuhkan pemanasan, segera siap pakai dan awet, berukuran kecil dan tahan goncangan. Kekurangannya terutama pada kepekaannya terhadap suhu. Unsur pembangun semipenghantar dari bahan yang seragam, yang dilimpahi paling homogen adalah yang digunakan sebagai hambatan yang berubah-ubah, yaitu: penghantar panas, penghantar dingin, variator dan penghantar sinar, demikian pula generator-Hall yang dapat digunakan untuk mengukur medan magnet dan sebagai modulator. Unsur termis yang terdiri atas dua bahan semipenghantar yang berlainan digunakan untuk mengubah panas langsung menjadi energi listrik atau untuk pendinginan secara termoelektris (yang disebut elemen Peltier). Yang disebut *dioda semipenghantar* (gambar 6) adalah unsur pembangun dengan peralihan p—n antara dua daerah dengan bahan dasar yang sama namun berbeda limpahannya dan menghantar n atau p dan dua sambungan (elektrode). Dioda tersebut digunakan untuk membuat arus searah dan untuk demodulasi, untuk menghasilkan getaran serta untuk mengubah naik-turunnya sinar menjadi goncangan arus dan goncangan tegangan, sebagai penghubung (sakelar) elektronis, kapasitas atau tahanan yang dapat dikendalikan demikian juga detektor pemancaran dan detektor bagian. — Transistor adalah unsur pembangun semipenghantar yang digunakan sebagai penguat, sakelar, alat untuk membuat arus searah, penghasil getaran; detektor pemancaran dan lain-lain unsur pembangun semipenghantar yang digunakan dengan paling sedikit tiga sambungan, yang dapat dianggap sebagai sambungan berangkai dari dua dioda semipenghantar atau lebih yang saling berhubung-

Gambar 8 Gambaran berupa bagan dari transistor pnp dan npn serta lambang sambungannya

Gambar 9 Skema sambungan sebuah transistor pnp jika dihubungkan dengan kutub yang sama dari tegangan pemancar-basis dan tegangan kolektor-basis.

Gambar 10 Sambungan sebuah transistor pnp untuk memperkuat suatu"tegangan bolak-balik, (T_E transformator masukan: R_A hambatan usaha)

Gambar 11 Sambungan dasar transistor a) sambungan pemancar, b) – kolektor, c) – basis (E = pemancar, C = kolektor, B = basis)

Gambar 12 Transistor a) transistor campuran logam b) transistor mesa c) transistor planar

Gambar 13 Transistor-efek-medan lapisan hambatan

Gambar 14 Transistor-efek-medan pada permukaan: a. Type penguras b. Type peningkatan

Gambar 15 Sambungan dasar dari transistor berkutub satu, a) sambungan/hubungan sumber, b) sambungan gerbang, c) sambungan penguras (E jalan masuk, A jalan keluar, U tegangan baterai)

an. Transistor *bipolar* (dwikutub) atau transistor *injeksi*, yang baik elektron maupun kekosongannya ikut serta dalam aliran arus, kadang-kadang terdiri atas tiga daerah penghantar n atau p dari kristal setengah penghantar yang dilimpahi secara berbeda (sekarang kebanyakan kristal silisium) dengan dua lintasan p—n (gambar 7) yang terletak di antaranya: Kedua daerah paling luar dengan jenis aliran yang sama dinamakan *daerah pancaran* dan *daerah pengumpul* (kolektor), *daerah tengah* yang tebalnya paling banyak beberapa µm disebut *daerah basis;* elektroda yang dipasang padanya disebut *pemancar, basis* dan *kolektor.* Pada pengutuban yang berlawanan dari tegangan antara pemancar basis dan kolektor basis (gambar 8) kedua lintasan p—n kutubnya berarah ke jalan langsung — atau kalau dibalik kedua tegangannya — ke arah hambatan/buntu, yang berarti: transistor itu bekerja sebagai sakelar. Jika kedua tegangan dikutubkan yang sama (gambar 9) dari lintasan p—n antara daerah pemancaran dan daerah basis menuju arah jalan terus dan yang lain dihubungkan sebagai lapisan penghambat, maka suatu isyarat yang disalurkan ke pemancar dapat diambil dalam keadaan lebih kuat pada rangkaian kolektor basis luar: Pembawa muatan yang di-"suntikkan" dari pemancar ke dalam daerah basis ternyata membaur sebagai pembawa minoritas melalui lapisan penghambat ke dalam daerah kolektor dan mengendalikan atau memperkuat arus yang mengalir dalam rangkaian arus kolektor basis. Dengan hubungan utama dari sebuah transistor bipolar yang disebut hubungan pemancar, hubungan basis dan hubungan kolektor (gambar 10) diperoleh berbagai tambahan kekuatan (dengan hubungan pemancar misalnya tegangannya bertambah hingga 1.000 kali lipat dan arusnya hingga 100 kali lipat); contoh untuk transistor bipolar diberikan oleh gambar 10. Pada transistor berkutub tunggal atau transistor efek medan pada alat penguatnya hanya diberikan satu jenis pembawa muatan; aliran arusnya hanya diberikan oleh satu pembawa mayoritas dalam apa yang disebut saluran antara elekrode yang disebut *sumber* dan *lembah* (penguras) (gambar 11 dan 12) dan akan mengalir melalui apa yang disebut efek medan dengan menggunakan medan listrik, yang garis medannya melintang pada saluran antara kedua elektrode pengendali yang disebut gerbang (*gate*). Di sini pun dibedakan adanya tiga hubungan utama (gambar 13), yakni hubungan sumber, hubungan gerbang dan hubungan pengurasan. Transistor efek medan (*Feldeffektransistoren* atau FET) kebanyakan dibuat dalam teknik sederhana (*Planartechnik*), terutama dalam teknik MOS sebagai MOS—FET.

Yang disebut *thyristor* atau *transistor-empat-lapis* adalah elemen pembangun semipenghantar yang dapat mengarahkan dan dapat dikendalikan, yang memperlihatkan empat daerah yang menghantar n — p (urutannya: npnp) yang limpahannya tidak sama, dua sambungan luar dan satu atau dua (empat lapis — atau *thyristor-tetroda*) elektrode terkendali di daerah dalamnya. Transistor ini digunakan dalam peralatan untuk pengarahan dengan kapasitas sangat tinggi dan untuk mengatur jumlah putaran tanpa tingkatan dari motor.

20. Tabung Braun

Tabung Braun (tabung sinar katoda) mempunyai sebuah katoda pijar, yang pemancaran elektronnya terhimpun menjadi satu berkas sinar serta digerakkan oleh suatu sistem pembelok dan dapat diperlihatkan sebagai suatu titik sinar pada sebidang layar sinar. Pemberkasan itu dilakukan oleh elektrode yang bekerja sebagai lensa listrik atau oleh kumparan konsentrasi yang bekerja sebagai lensa magnetis (gambar 2). Pembelokan elektrostatis diperoleh dengan dua pasang pelat yang tegak lurus satu sama lain (gambar 1), pembelokan magnetis dengan sebuah kumparan pembelok (gambar 2). Kelebihan dari pembelokan magnetis terletak dalam hal, bahwa pada tegangan yang rendah dapat diperoleh sudut pembelokan/penyimpangan yang lebih besar daripada dengan pembelokan elektrostatis. Oleh karena itu untuk memperoleh alat yang lebih rata, pada penggunaan tabung Braun untuk menerima gambar televisi diutamakan pembelokan magnetis. Sinar elektron kemudian menuliskan gambar itu dalam garis siku-keluang yang seirama pada layar sinar, seiring dengan perabaan/pencarian pada pemancarnya, yang gerak baliknya tertangkap gelap. Layar sinar itu terdiri atas zat yang dapat menimbulkan fluorisasi dan terbagi menjadi bagian yang halus sekali (bagian utamanya misalnya sengsulfida). Dengan dibubuhi campuran tambahan warna dari sinar fluorisasi itu dapat dipengaruhi. Pemberkasan sinar elektron dalam lensa listrik terjadi teristimewa karena medan listrik yang terbentuk antara silinder-Wehnelt yang dihubungkan dengan tanah (potensial nol) dan anoda yang berbentuk pelat (potensial positif). Garis medan itu menyerbu masuk melalui lubang anodanya, sehingga terbentuk bidang ekuipotensial (berpotensi sama), yang menyerupai bidang lengkung pada lensa optik. Pada pemberkasan magnetis elektron itu bergerak melalui apa yang disebut lintasan sekrup (spiral). Pembelokan elektrostatis dari elektron dalam medan pasangan pelat rangkap dua dapat disamakan dengan jatuhnya suatu benda dalam

Gambar 1 Pemberkasan elektrostatis dan pembelokan dalam tabung Braun

Gambar 2 Alat-alat untuk pemberkasan dan pembelokan dengan magnet

medan gaya berat. Setiap elektron bergerak pada lintasan berbentuk parabol. Pada pembelokan magnetis pengaruh yang sama itu diperoleh dengan menempuh sebagian dari lintasan spiral. Tegangan atau arus penyimpanan diperoleh oleh getaran balik, yang dengan cara yang tepat jalannya disesuaikan dengan tujuan penggunaannya.

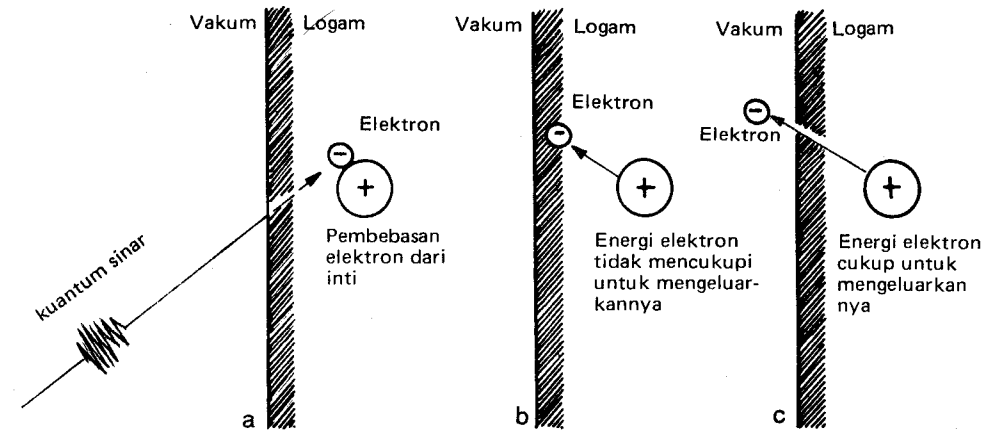
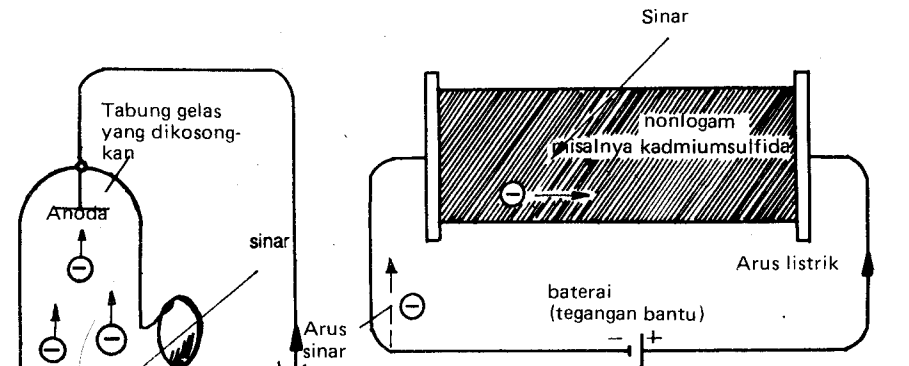
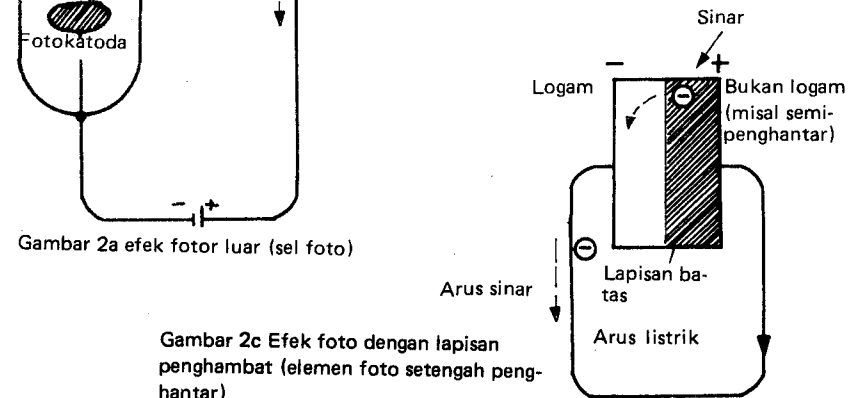
21. Sel Foto, Elemen Foto

Cara berfungsinya sel foto, yang misalnya merupakan unsur pembangun bagi alat ukur penyinaran, didasarkan pada pengaruh sinar listrik.

Elektron dalam logam dapat diberi energi dengan cara penyinaran misalnya dengan cahaya. Kejadian ini disebut efek foto atau efek listrik sinar. Dalam hal ini energi dari setiap satuan sinar berpindah kepada elektron atom yang paling longgar ikatannya (gambar 1a). Tergantung dari hal apakah energi ini mencukup untuk membebaskan elektron itu, namun membiarkannya tetap dalam logam itu (gambar 1b), atau apakah energi tersebut memberinya kemampuan yang lebih dari itu, sehingga elektron dapat meninggalkan logam itu dan ke luar memasuki vakum (gambar 1c), dikatakan tentang adanya *efek foto dalam* dan *efek foto luar.* Neraca peristiwa elementer dari listrik sinar (foto) dinyatakan oleh "Persamaan Einstein":

$$hv = A + \frac{1}{2} m_e v^2$$

Di sini: hv berarti energi dari satuan (kuant) sinar, dengan frekuensi V dari sinar, dengan jumlah kerja menurut Planck (h = 6,62 . 10^{-27} erg), A = kerja untuk ke luar, yaitu energi yang dibutuhkan elektron yang terlepas, untuk menempuh jalan dari tempat pelepasan melalui permukaan ke dalam vakum, m_e = massa elektron dan v = kecepatannya dalam vakum. Efek foto luar digunakan dalam sel foto (gambar 2a). Sebagai katode foto yang peka terhadap sinar yang kebanyakan terdapat dalam tabung gelas yang dikosongkan, dapat digunakan lapisan cäsium yang sangat tipis yang dioksidasi secara penguapan yang dilapiskan pada lapisan bawah dari perak. Elektron foto itu "tersedot" oleh anoda yang terletak pada tegangan positif (baterai). Oleh karenanya dalam rangkaian luar terjadi arus yang sebanding dengan intensitas sinar. Sel foto itu praktis bekerja tanpa kelembaman.

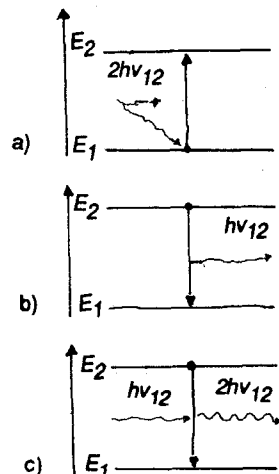
Gambar 1 Gerak dasar elektris foto

Gambar 2a efek fotor luar (sel foto)

Gambar 2b: Efek foto dalam (hambatan sinar, elemen foto)

Gambar 2c Efek foto dengan lapisan penghambat (elemen foto setengah penghantar)

Efek-foto-dalam dimanfaatkan dalam *penghambat sinar* (gambar 2b). Dewasa ini sebagai bahan penghambat diutamakan *cadmiumsulfida* atau *cadmiumselenida* dengan perubahan hambatan sebesar 10,9 : 1 antara hambatan gelap dan hambatan terang.

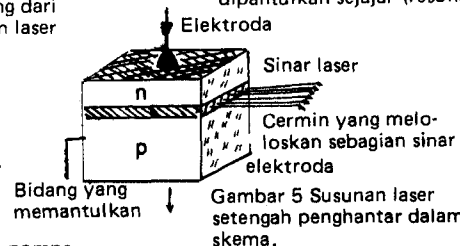
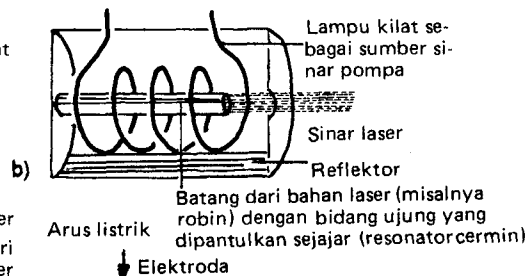
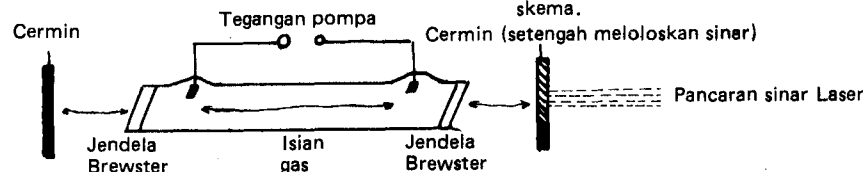
Jika terjadi efek-foto-dalam dalam daerah kekurangan dari peralihan-positif-negatif dari sebuah semipenghantar atau pada bidang batas antara semipenghantar/logam (gambar 2c), maka terjadilah tegangan elektrik foto tersendiri yang ternyata ekuivalen dengan selisih berkurangnya tegangan dalam arah hambatan dan aliran (elemen foto semipenghantar, sel foto dari lapisan hambatan). Sel dalam gambar 2a dan 2c membentuk suatu EMK (tenaga elektromotor, yaitu tenaga yang menyebabkan terpisahnya muatan negatif dan positif; satuan: Volt). Hambatan sinar (gambar 2b) membutuhkan tegangan bantu (baterai). Sel foto dan elemen foto digunakan dalam teknik pengaturan optik sebagai batas optik dan dalam banyak bidang teknik lainnya sebagai alat ukur yang cermat dan sangat peka, namun juga sebagai alat pengadaan arus (misalnya dari satelit). Dalam kasus yang terakhir diutamakan elemen foto silisium, yang mengubah kira-kira 10% dari energi sinar yang diserap menjadi energi listrik.

Dioda-foto adalah dioda-bidang-semipenghantar khusus yang dipasang di muka dalam arah hambatan yang sifat listriknya sangat berubah dengan penyinaran lapisan lintasan p—n; misalnya arus listrik dalam arah hambatan menjadi lebih besar sekali, karena sebagai akibat dari efek-foto dalam dihasilkan pasangan pembawa muatan tambahan dalam lapisannya. Dioda-foto itu digunakan sebagai hambatan sinar yang peka, misalnya untuk tujuan pengukuran sinar dan pengendalian sinar. Dalam rangkaian arus tertutup tanpa sumber tegangan dioda-foto itu bekerja sebagai elemen-foto.

22. Laser

Yang disebut laser (singkatan dari bahasa Inggris: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* = penguatan sinar dengan pemancaran yang dirangsang) adalah peralatan untuk menghasilkan dan memperkuat sinar yang dapat dilihat yang sangat monokromatis lagi koheren (mengumpul menjadi satu). Sinar dengan energi yang sangat padat ini dengan demikian terdiri atas sumber sinar dengan hampir satu-satunya frekuensi atau panjang gelombang dan berayun dalam fasenya secara statistis tak sepenuhnya tidak teratur/tertentu seperti sinar biasa, melainkan memperlihatkan adanya hubungan fase yang pasti antara semua titik dari medan penyinaran yang dibentuknya. Pemancaran sinar ini terjadi karena pengaruh timbal-balik antara sistem atom dengan foton (kuant = satuan banyaknya sinar yang terkecil). Jika terdapat atom, ion atau molekul, tetapi juga kristal benda padat dan lain-lain yang cocok dalam medan penyinaran elektromagnetis, maka unsur tersebut dapat menyerap foton dari medan tersebut dan dapat terangsang dari suatu keadaan (tingkat energi) misalnya energi E_1 menjadi keadaan energi E_2 (gambar 1), jika dalam medan penyinaran terkandung gelombang elektromagnetis dengan frekuensi $v_{12} = (E_2 - E_1)/h$ atau foton dengan energi hv_{12} ($h = 6{,}63.10^{-14}$ Js = kuantum pengaruh Planck). Biasanya dalam waktu yang sangat singkat unsur tersebut sama sekali karena sendirinya ke keadaan energi E_1, sambil memancarkan secara spontan foton dengan energi hv_{12}. Namun medan penyinaran itu menimbulkan apa yang disebut lintasan tambahan "yang diinduksikan" sejenis, dihubungkan dengan apa yang disebut *pemancaran yang diinduksikan atau dirangsang* dari foton berenergi hv_{12}. Penyinaran yang terjadi demikian adalah koheren (dalam fase yang sama) dengan bagian medan penyinaran yang menjadi penyebab, sedangkan penyinaran berdasarkan penyinaran yang terjadi secara kebetulan dan tidak teratur sama sekali tidak koheren. — Secara normalnya sekarang terdapat

Gambar 1 Peralihan elektron antara tingkat-tingkat energi dari atom, a) absorpsi suatu kuantum sinar, b) pemancaran dengan sendirinya (spontan), c) pemancaran yang diinduksikan.

Gambar 2: Angka-angka pengisian *N* dari tingkat energi dalam perimbangan termodinamika (a), dan dalam laser tiga tingkat pada inversi pengisian (b)

Gambar 3: Gambaran dalam skema dari laser benda padat: (a) dengan lampu kilat yang berbentuk batangan dalam sebuah reflektor dengan penampang berbentuk elips, (b) dengan lampu kilat berbentuk spiral

Gambar 5 Susunan laser setengah penghantar dalam skema.

Gambar 4: Susunan laser gas dengan rangsangan oleh tumbukan elektron dalam tabung pelepasan muatan melalui gas.

suatu medium yang mengandung sejumlah besar sistem atom yang dapat dirangsang semacam itu, dalam keseimbangan termis, maksudnya masih lebih banyak lagi sistem yang berada dalam tingkat lebih rendah E_1 daripada yang dalam tingkat E_2 (gambar 2). Karena itu pada penyinaran lebih banyak proton diserap dari medan pemancaran daripada dipancarkan dalam keadaan diinduksikan, artinya medan pemancaran diperlemah. Namun bila dengan pemancaran proton berenergi $hv_{13} = (E_3 - E_1)/h$ banyak sekali sistem dirangsang menjadi suatu keadaan energi E_3 yang ditinjau dari energinya lebih tinggi (yang disebut *pompa optik*), tempat sistem itu terus-menerus beralih menjadi keadaan energi E_2, maka tingkat energi ini menjadi "meluap penuhnya" (yang disebut inversi jumlah pengisiannya). Dalam "medium aktif" yang demikian dapat terjadi pengurangan, sehingga jumlah pemancaran yang diinduksikan lebih besar daripada bagian yang diserap: Maka terjadilah penambahan proton berenergi hv_{12}.

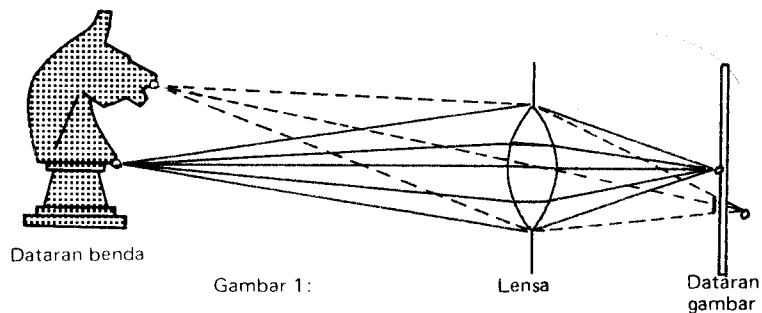
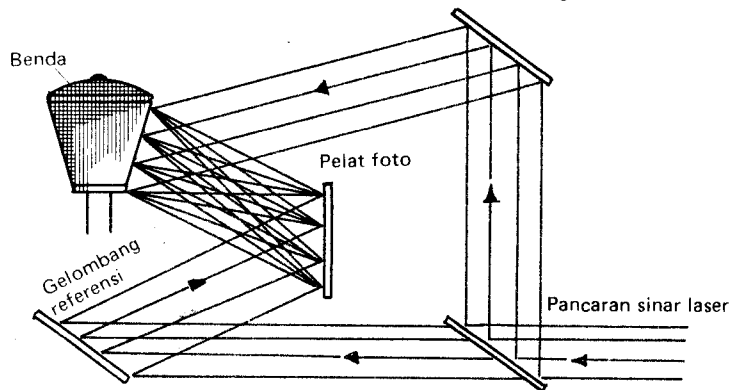
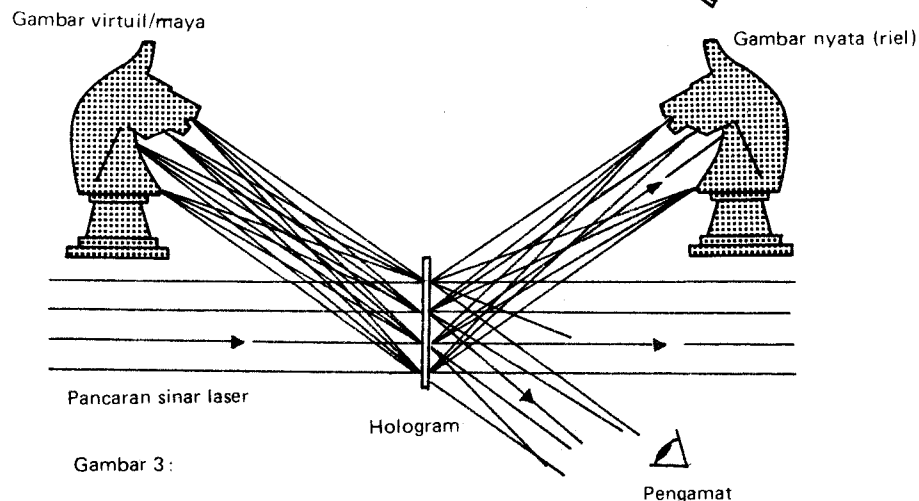
Sebuah laser mempunyai susunan seperti berikut: Antara dua cermin datar-paralel atau berbentuk bola (cembung) yang berhadapan, yang di antaranya sedikit-dikitnya satu dapat dilalui pancaran sinar yang terjadi, media laser yang dapat diaktifkan digabungkan dengan sistem atom yang dapat memancarkan proton dengan frekuensi tertentu. Setelah media itu diaktifkan dan pemancaran yang diperkuat dan diinduksikan dari proton dengan energi hv_{12}, bidang cermin itu menimbulkan penghubungan kembali secara terus-menerus dari pemancaran yang terjadi ke dalam medium yang aktif itu. Segera setelah penghasilan proton dengan arah gerak tegak lurus pada bidang cermin melebihi kerugian/kehilangan gelombang sinar yang bergerak mondar-mandir di antara cermin itu, terjadi penguatan resonansi dari sinar itu. Pemisahan sinar yang sangat koheren itu kebanyakan terjadi oleh cermin yang agak dapat dilalui/tembus. Sinar yang dipancarkan agak monokromatis atau berwarna tunggal (lebar spektrumnya $\Delta V/V = 10^{-14}$) dan lagi pula terikat sangat erat. — Tergantung dari jenis medium aktif yang digunakan, diketahui adanya: *laser benda padat* (gambar 3), *laser benda cair* dan *laser gas* (terutama laser pengosong gas, gambar 4) dan *laser semipenghantar* (laser injeksi, gambar 5), menurut cara bekerjanya dan penyinarannya: *laser impuls* (pemancaran kilatan sinar) dan *laser bergesek lama* (pemancaran yang bersinambungan). Laser benda padat yang paling terkenal adalah *laser rubin* yang menghasilkan sinar merah, yang medium aktifnya terdiri atas kris-

tal robin (= batu merah delima) yang dibuat secara sintetis. Pemompaan optis terjadi dengan bantuan kilatan sinar yang kuat, yang dihasilkan dengan pengosongan muatan kondensator secara berkala melalui lampu neon (pelepasan muatan melalui gas).

23. Holografi

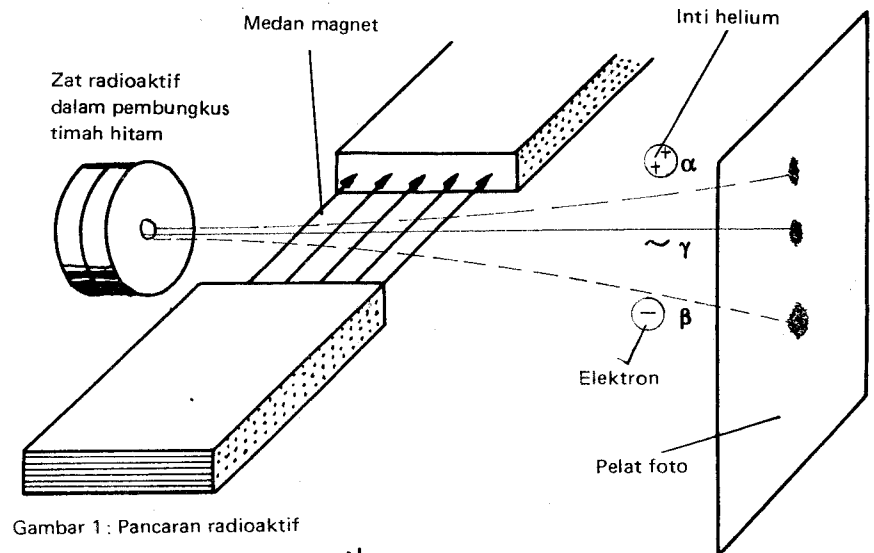
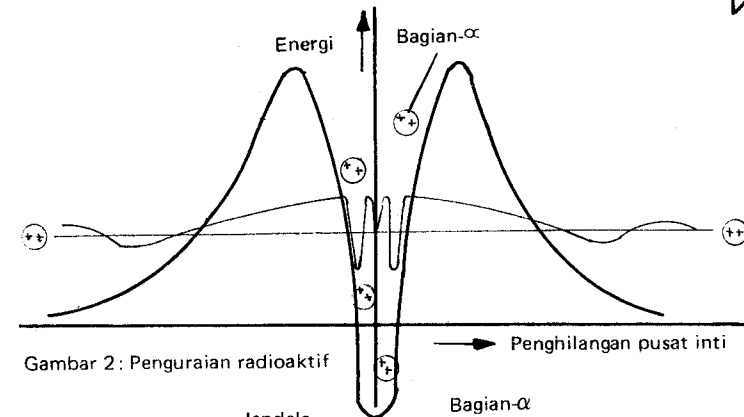
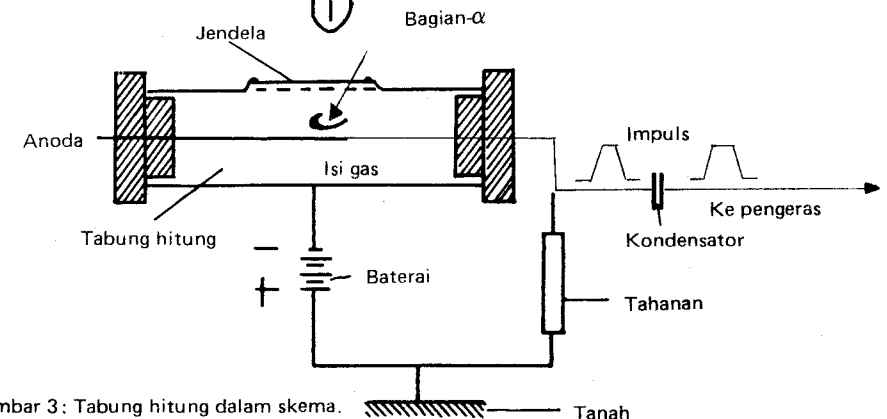
Yang disebut holografi adalah fotografi (pemotretan) dengan sinar koheren. Dalam hal ini tidak seperti pada pemotretan (gambar 1) terkumpul suatu gambar objek yang datar, tetapi gelombang sinar yang dipantulkan oleh objeknya itu sendiri yang dipotret. Pemotretan (gambar) yang terjadi secara demikian disebut hologram. Hologram itu sama sekali tidak menyerupai objeknya. Baru sejak perkembangan teknik laser dan teknik maser sumber sinar yang koheren dapat digunakan untuk membuat hologram yang intensitasnya memadai. Objeknya disinari dengan berkas sinar yang koheren; berkas yang dipantulkan objek itu ditumpukkan pada berkas referensi, dan kedua berkas gelombang ditangkap pada pelat foto. Gambar yang diperoleh adalah suatu lukisan interferensi, yang mengandung segala keterangan mengenai fase dan amplitudo dari sinar yang dipancarkan; oleh karena itu dalam teknik ini kejadian tersebut dinamakan rekonstruksi dari muka gelombang itu.

Pada waktu mengamati hologram digunakan pengaturan yang sama (atau serupa) seperti pada waktu pemotretan: hologram itu diterangi dengan sinar koheren, dengan sinar laser yang diperlebar dengan lensa. Gambar yang terjadi tidak dapat dibedakan sama sekali dari objek yang sesungguhnya. Yang dihadapi adalah gambar yang secara mutlak berdimensi tiga dengan gejala paralaks (perbedaan pandang) yang sama seperti dalam kenyataan. Ini berarti, bahwa selama kita bergerak dalam lebar berkas sinar, kita dapat melihat objek yang dipotret itu dari berbagai-bagai sisi. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan dalam garis dasar aturan untuk pemotretan dan untuk melihat hologram. Sinar referensi di sini dibelah oleh cermin yang setengah tembus cahaya menjadi dua jalur bagian dan kemudian dipersatukan kembali pada pelat foto. Persamaan antara fotografi dan holografi terletak pada hal bahwa objeknya diterangi dan cahaya yang dipantulkan dihimpun kembali pada pelat foto. Dalam fotografi sinar yang dipantulkan itu dikumpul-

kan menjadi satu berkas dengan lensa, sehingga sinar yang berasal dari suatu tempat tertentu dari objeknya bertemu pada tempat yang sama sekali telah ditentukan pada pelat foto dan di sana terkumpul sesuai dengan intensitasnya. Dalam holografi tidak perlu digunakan lensa sama sekali. Sinar yang dipantulkan oleh objek seluruhnya jatuh pada pelat foto dan di situ berkumpul dengan sinar referensi. Jadi setiap titik dari pelat foto mengandung informasi tentang setiap titik dari objek dan hologram yang sudah selesai/jadi tanpa banyak kesulitan dapat dipotong-potong dan kemudian jika diamati dengan sinar laser objek tersebut dalam keseluruhannya dapat ditemukan kembali di situ. Sudah barang tentu daya urainya dengan diperkecilnya hologram atau pelat foto akan berkurang.

Karena sifatnya sebagai penghimpun gambar tiga demensi hologram tidak mengenal permasalahan tentang ketajaman-dalamnya seperti fotografi. Dengan bantuan waktu penerangan yang sangat pendek dari laser benda padat akan memungkinkan penangkapan kejadian yang berubah cepat sekali dalam tiga demensi. Bidang penggunaan yang sangat istimewa dan di kemudian hari amat penting adalah penghimpunan informasi yang logis. Pada hologram unsur gambar tertentu dari suatu benda dapat dibaca seluruhnya dan dikenal dengan menggunakan sebuah hologram kedua sebagai filter. Jadi dengan mudah misalnya semua tempat dari tulisan yang berada di muka kita ini dapat ditemukan, tempat tertulis kata holografi. Pada hologram yang pertama terpotret artikel dalam keseluruhannya, yang setiap bagiannya mengandung gambar tulisan seluruh artikel. Pada hologram yang kedua hanya tertangkap kata yang dicari, yaitu *holografi*, yang sama besarnya, juga terbagi meliputi seluruh bidang. Jika sekarang pada reproduksi kedua hologram ditumpukkan, maka hanya gelombang sinar yang cocok dengan kata *holografi* dapat meluas tanpa rintangan. Gambar interferensi yang kedua boleh dikatakan menjadi kedok bagi kata yang dicari, sehingga di situ hanya diperoleh gambar, yang dalam tulisannya tertera *holografi*.

24. Radioaktivitas

Yang disebut uraian radioaktif adalah perubahan unsur secara alami, seperti hal ini semula dianggap terurainya radium secara bertahap menjadi timah hitam. Hal ini terjadi dengan pemancaran yang banyak energinya (radioaktivitas), yang dapat dipisahkan di bawah pengaruh suatu medan magnet menjadi tiga komponen, sinar alfa, beta dan gamma (sinar α, β dan γ) (gambar 1). Sinar α terdiri atas inti dari gas mulia Helium yang bermuatan positif rangkap, bagian alfa (α); sinar β terbentuk dari elektron yang bermuatan negatif tunggal, bagian beta (β); kedua sinar itu disimpangkan oleh medan magnet ke sisi yang berlainan. Sebaliknya sinar γ tetap tidak terpengaruh oleh medan magnet; sinar ini menggambarkan pancaran gelombang elektro magnet dengan panjang gelombang yang luar biasa kecilnya ($\approx 10^{-12}$ cm) oleh kuantum gamma (kuantum γ) yang berenergi besar. Karena energinya yang besar ketiga jenis sinar itu berkemampuan untuk menghitamkan pelat foto atau mengionisasikan gas; jadi sinar itu dapat dibuktikan dengan metode pengukuran secara fotografis atau listrik.

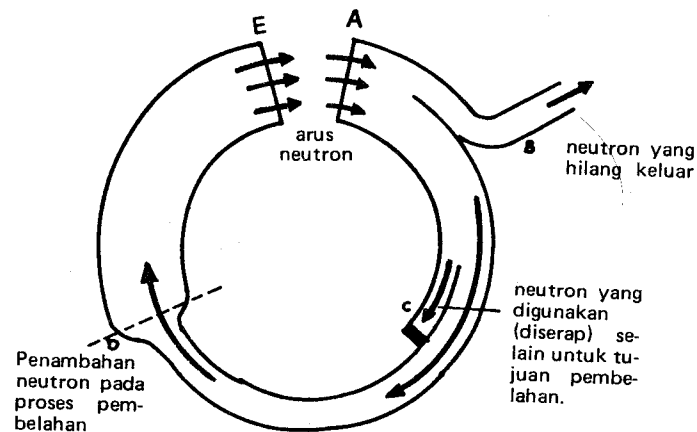
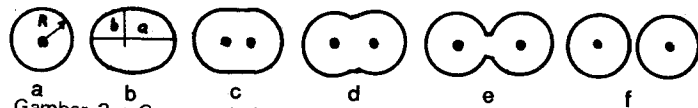
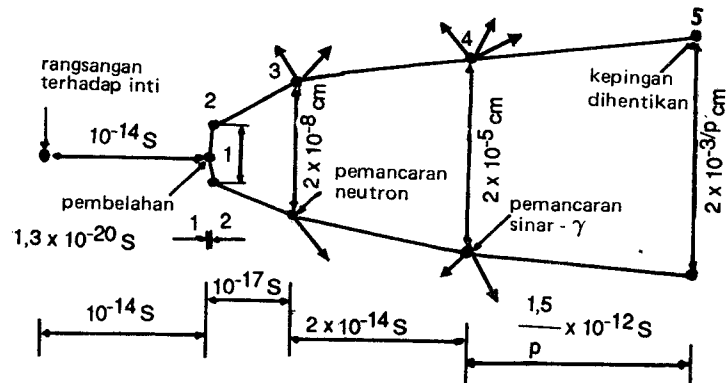
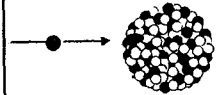
Menurut G. Ganow uraian radioaktif itu dibayangkan sebagai berikut: Suatu inti atom radioaktif dibagankan dengan sebuah bangunan yang menyerupai pot (gambar 2). Dalam pot ini terdapat bagian α sebagai unsur pembangun inti atom. Biasanya bagian ini dapat ke luar dari pot, karena mengalir melampuai tepinya (tumpah). Namun bagian α itu, yang mempunyai sifat gelombang, memungkinkan bagian tersebut dalam jumlah terbatas menembus dinding pot itu. Bagian semacam itu membentuk sinar α. Dengan cara yang serupa dapat diterangkan terjadinya sinar β, sedang sinar γ dengan perubahan keadaan energi di dalam inti atom berkaitan dengan kedua jenis sinar yang pertama. Dalam gambar 3 dilukiskan suatu peralatan untuk membuktikan adanya sinar α, yang dinamakan menurut nama penemu tabung hitung Geiger-Müller (alat hitung Geiger). Alat ini berdasarkan atas pembuktian secara listrik

Gambar 1: Pancaran radioaktif

Gambar 2: Penguraian radioaktif

Gambar 3: Tabung hitung dalam skema.

dari sinar radioaktif dengan ionisasi. Tabung itu diisi dengan gas yang tipis (bertekanan rendah) yang di dalamnya dilakukan proses ionisasi-rangsangan dengan sinar radioaktif, hal mana mengakibatkan impuls tegangan pendek pada hambatan penghubung muka. Impuls itu diperkuat dan kemudian dibubuhkan alat penghitungnya. Kepekaan yang tinggi dari tabung penghitung disebabkan oleh bentuk geometris dari elektrodenya. Anode dari kawat halus (kutub positif) dikelilingi secara konsentris oleh sebuah katode (kutub negatif) berbentuk silinder yang berbidang luas. Kemungkinan elektron (negatif) yang terlepas akibat terjadinya ionisasi-rangsangan segera mencapai anode, adalah kecil. Pada umumnya elektron itu pertama-tama terbang melaluinya dan dipaksa oleh medan listrik yang kuat dari garis medan yang berjejalan mengumpul pada anode untuk menempuh lintasan spiral tempat elektron itu masih sempat membangkitkan sejumlah besar proses ionisasi-rangsangan, sebelum akhirnya mencapai anode. Sinar γ yang sangat keras, yaitu mempunyai daya tembus yang besar, dalam ilmu pengobatan Röntgen terutama digunakan untuk tujuan terapi (pengobatan).

Di samping radioaktivitas alami sejak 1934 dikenal radioaktivitas buatan, yakni unsur yang dibikin radioaktif dengan mengubah atomnya secara buatan. Dalam teknik nuklir modern unsur tersebut diperoleh sebagai hasil limbah pada pengoperasian reaktor. Semua gejala radioaktif akan padam dalam waktu tertentu. Sebagai ukuran untuk itu telah diperkenalkan *waktu-setengah-nilai.* Ini adalah kurun waktu, menurut itu separuh dari atom radioaktif yang ada sudah terurai pada permulaan pengukuran waktu pada ketika itu. Pada hasil pemisahan radioaktif yang terjadi pada ledakan senjata nuklir terutama dijumpai waktu-setengah-nilai sebesar 10—60 hari, namun di samping itu ada juga yang sampai 28 dan 30 tahun (Strontium 90 dan Cäsium 137).

25. Inti Atom, Energi dan Pembelahan Inti

Seperti telah diketahui inti atom (nuklir) yang terdapat di pusat atom dari suatu zat, tempat terkumpul hampir seluruh massa atom — garis tengahnya hanya 10^{-13} cm, jadi 100.000 kali lebih kecil daripada garis tengah atomnya sendiri (beberapa 10^{-8} cm) — semuanya hanya terdiri atas proton dan neutron. Yang disebut *proton* adalah inti atom dari zat air ringan yang bermuatan listrik positif (^{1}H); yang disebut *neutron* adalah bagian unsur yang sedikit lebih berat tanpa muatan listrik. Antara unsur pembangun inti ini, *nukleon,* pada jarak kurang dari 10^{-12} cm bekerja daya tarik yang sangat kuat, yang disebut tenaga inti, yang mempersatukan (mengikat) nukleon itu dalam inti. Jumlah proton itu dalam hal ini menentukan nomor urut Z dari unsur yang bersangkutan ($Z = 1$ pada zat air, $Z = 92$ pada uranium), sedangkan jumlah neutron N dengan dua perkecualian paling sedikit sama dengan jumlah proton ($N = 1$ pada zat air berat ^{2}H dan $N = 136$ pada isotop uranium ^{238}U). Lagi pula jumlah neutron itu kebanyakan tidak sama pada semua atom dari unsur kimia; jenis atom dari unsur yang berbeda-beda dalam N dan dengan demikian dalam jumlah massa $A = Z + N$ membentuk apa yang disebut *isotop* unsur. Selanjutnya ternyata pada inti yang beratnya sedang dan inti yang berat, bahwa jumlah neutron itu harus selalu jauh melebihi jumlah proton, karena nantinya, tenaga inti itu tidak mampu menimbulkan ikatan antara neukleon itu menjadi inti atom yang selamanya stabil melawan tenaga tolak elektrostatis antara proton yang bermuatan. Pada perbandingan $\frac{N}{Z}$ yang tidak menguntungkan demikian pula pada inti yang sangat berat ($\frac{N}{Z} \approx 1,6$) yang karenanya inti menjadi *tidak stabil,* maka lama-kelamaan inti tersebut terurai dengan melepaskan atau bagian elektron (bagian β) atau inti helium (bagian α); sebagaimana dikatakan orang bagian tersebut adalah *radioaktif.*

Pada inti atom isotop uranium ^{235}U (jumlah massa A dari tiap-tiap isotop ditaruh pada simbol kimia di sisi kiri atas atau di bela-

Gambar 1 : Skema neraca neutron yang telah disamakan.

Gambar 2 : Getaran dari setetes cairan yang tidak dapat dipadatkan; inti yang berat seperti uranium sudah berubah bentuk dalam keadaan dasar (gambar b); pad a titik terpisahnya (e) tetesan itu terurai menjadi dua bagian.

Gambar 3 : Gambaran grafis tentang jalannya proses pembelahan berdasarkan waktu; peristiwanya adalah: O rangsangan pada inti, 1 pembelahan, 2 kepingan mendapatkan 90 % dari energi kinetis-nya, 3 pemancaran neutron, 4 pemancaran sinar-γ, 5 kepingan di-hentikan.

kangnya) sekarang dapat terjadi apa yang disebut *pembelahan inti* dengan cara berikut: Sebuah neutron bebas dengan energi kinetis kecil ($\approx$ 0,025 eV) bertemu dengan inti -U-235 dan tertangkap oleh neutron tersebut. Sementara itu terjadi sedemikian tidak stabilnya, sehingga ia dalam waktu singkat dengan sendirinya terbelah menjadi dua pecahan yang kira-kira sama beratnya (misalnya menjadi satu inti barium dan satu inti krypton), yang selain itu beberapa inti menjadi bebas. Pecahan inti yang juga disebut *produk pembelahan* dari pembelahan inti tersebut beterbangan terus dengan kecepatan yang besar sekali dan memindahkan energi kinetis mereka, dikarenakan pertumbuhan dengan atom dari bahan di sekitarnya kepada atom tersebut, sehingga panas yang terkandung dan demikian pula temperatur di sekelilingnya menjadi naik. Energi kinetis dari kedua produk pembelahan (rata-rata seluruhnya 170 MeV), yang karena banyaknya sisa neutron (N—Z) kebanyakan menjadi radioaktif, seperti juga energi kinetis dari neutron itu berasal dari energi pengikat dari 235 nukleon dari inti—U—235, yang untuk sebagian menjadi bebas pada pembelahan inti semacam itu. *Energi pengikat* dari inti atom dalam pada itu merupakan jumlah energi yang harus ditingkatkan, untuk menguraikan sama sekali inti tersebut menjadi bagian-bagiannya, yakni menjadi nukleon satu demi satu. Besar energi pada inti deuterium adalah 2,2 MeV, pada inti helium 28 MeV, pada inti uranium kira-kira 1800 MeV. Yang dimaksud dengan *energi inti* adalah energi pengikat atau energi yang menjadi bebas atau yang dimanfaatkan pada pembelahan inti atau lain reaksi inti (kebanyakan diperoleh pada satuan massa). Dibandingkan dengan energi lainnya, misalnya pada kejadian kimia, pada ionisasi dan perangsangan atom dalam selubung elektron dari suatu atom [hal ini menyangkut paling tinggi beberapa elektro volt (eV)], energi inti itu berjuta kali lebih tinggi.

26. Reaksi Inti Berantai

Pada setiap pembelahan atom oleh neutron yang lamban rata-rata dua atau tiga neutron menjadi bebas, artinya lebih banyak daripada yang dihabiskan untuk membelah inti itu sendiri. Neutron ini, yang juga meninggalkan inti yang terbelah dengan kecepatan yang tinggi, di pihaknya dapat dimanfaatkan untuk pembelahan inti lebih lanjut dari inti -U-235 jika sebelumnya neutron tersebut karena pertumbuhan yang cukup banyaknya dengan atom yang ringan (seperti misalnya yang terdapat dalam air dan grafit) direm secara mendadak dan melepaskan seluruh energi kinetis mereka (hingga 2 MeV), sehingga neutron tersebut "ditermalisasi", yaitu hanya masih mempunyai energi termis (kira-kira 0,025 eV) dari lingkungannya. Jadi *neutron termis* yang dihentikan secara demikian dapat lebih lama lagi saling mempengaruhi dengan inti-U-235. Kemungkinan untuk menangkap mereka dan dengan demikian untuk membelah inti dibandingkan dengan neutron yang cepat itu jauh lebih tinggi.

Karena pada setiap pembelahan lebih banyak neutron terbentuk daripada dihabiskan, maka dengan syarat tertentu jumlah pembelahan inti bertambah dengan cepat sekali. Maka terjadilah rangkaian pembelahan inti yang disebut reaksi inti berantai, tentang hal ini sebagian diperlihatkan dalam gambar 1. Reaksi berantai dari inti semacam itu dalam ledakan bom atom berlangsung secara tidak terkendalikan, namun sebaliknya dalam yang disebut *reaktor atom* atau *reaktor inti* (nuklir) reaksi tersebut terkendali, dan melepaskan energi inti dalam jumlah besar. Syarat untuk reaksi berantai semacam itu adalah bahwa inti atom yang dapat dibelah dengan neutron yang lamban terdapat dalam jumlah yang mencukupi dalam suatu bahan, sehingga dari neutron yang terjadi pada setiap pembelahan inti cukup banyak untuk melakukan pembelahan inti selanjutnya dan reaksi itu, sekali dijalankan, berjalan terus dengan sendirinya, hingga semua inti yang dapat dibelah habis terpakai.

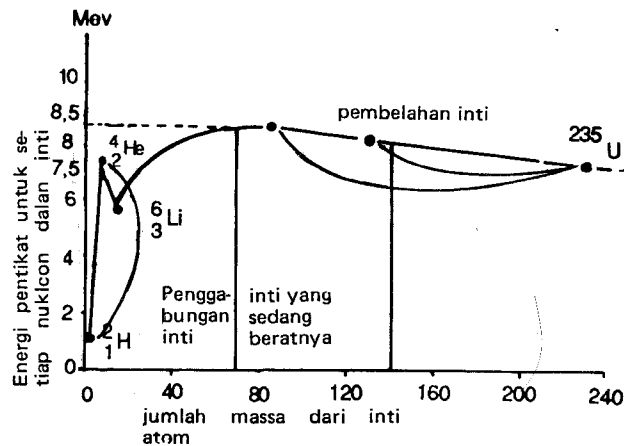
Uranium-235 dari alam yang dapat dibelah		produk antara	Hasil pembelahan = penghasil panas = limbah atom = sangat radioaktif			neutron untuk pembelahan lebih lanjut
neutron "termis" kecepatan = 2000 m/s energi kinestis=0,025 eV (elektronvolt)	Inti-uranium —235 terdiri atas 235 nukleon 92 proton, bermuatan listrik positif 143 neutron tanpa muatan	Inti uranium - 236 mempunyai satu neutron lebih banyak, sangat tidak stabil umurnya hanya seperbiliun sekon	Inti uranium - 236 terurai menjadi dua inti hasil pembelahan: mis. kripton 89 dan barium 144	Kedua inti baru saling bertolakan dikarenakan muatan positifnya (36 atau 56 proton) bertaburan dengan kecepatan yang lebih tinggi. energi kinet 60-95MeV (Megaelektronvolt)	Kedua inti memberikan energinya kepada bahan yang mengelilinginya dan dengan demikian menghasilkan panas reaktor (gerakan bagian-bagiannya.	Pada pemisahan beberapa neutron "cepat" juga menjadi bebas: kecepatan ≈10.000 km/s energi kinetis* ≈2MeV

Gambar 1 : Proses pembelahan inti pada Uranium-235 (dalam skema)

zat air	isotop zat air		helium 4
	deuterium	tritium	
$^{1}_{1}H$	$^{2}_{1}H(D)$	$^{3}_{1}H(T)$	$^{4}_{2}He$

jumlah masa / jumlah muatan

bagian atom		Muatan listrik (e= muatan elementer)	massa	
			dlm satuan massa atom	dalam 10^{-24} gram
● Proton	Nukleonen	+e	1	1,6723
○ Neutron		–	1	1,6746
● Elektron		–e	–	0,0009
Helimkern		+2e	4	6,634

Gambar 2 : Isotop dari suatu unsur berbeda dalam jumlah neukleon yang membentuk inti atom. Jumlah elektron yang mengelilingi inti tetap sama. Zat air adalah yang paling sederhana dalam deretan unsur yang panjang.

Gambar 3: Energi yang dibebaskan pada penguraian yang sempurna dari inti atom, yang sesuai dengan kerusakan massa pada waktu terjadinya inti atom, adalah apa yang disebut energi pengikat inti. Energi itu terlepas dari nuklid ke nuklid dan berkisar, jika dibagi oleh jumlah nukleon yang terkandung dalam inti, antara 1 dan 8,5 MeV.
Energi pengikat yang berbeda untuk setiap nukleon merupakan dasar untuk memperoleh energi inti. Jika dari inti dengan energi pengikat yang lebih rendah untuk setiap nukleon terjadi inti dengan energi pengikat yang lebih tinggi untuk setiap nukleon, maka akan terlepas energi. Hal itu terjadi juga pada penggabungan (fusi) inti (deuterium → helium), seperti pada pembelahan inti (uranium → inti yang sedang beratnya).

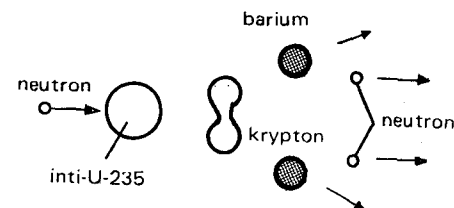
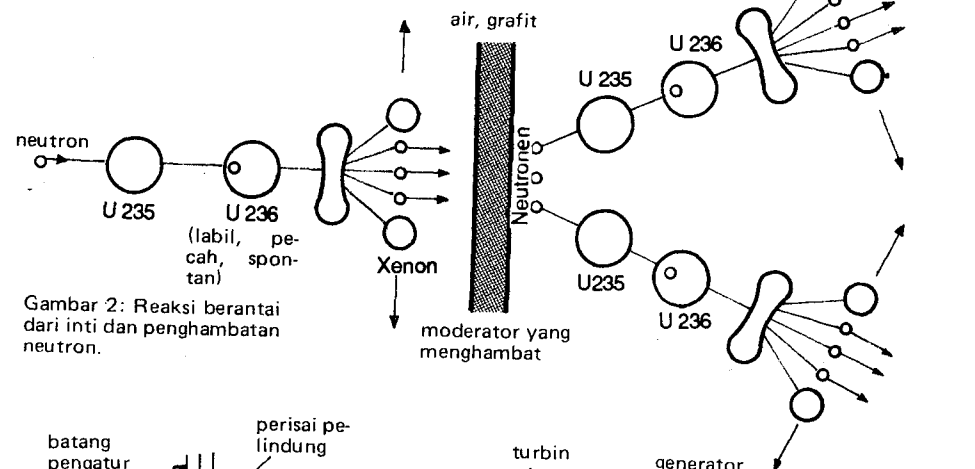
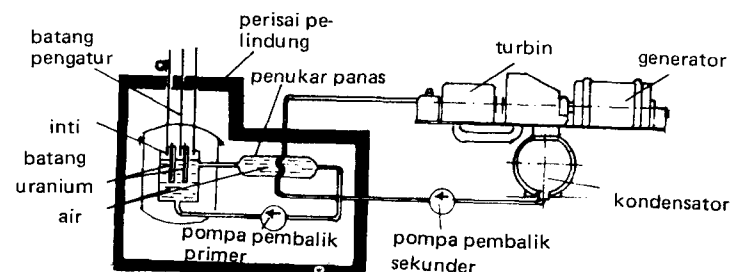
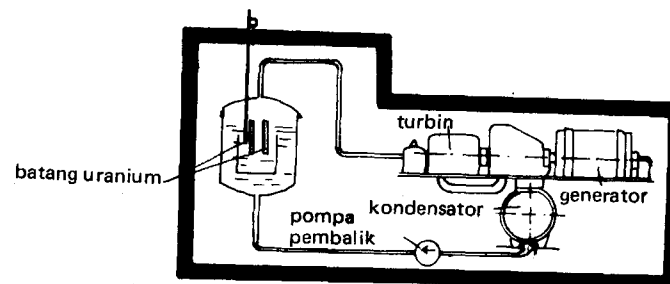
Persyaratan ini terpenuhi, jika dalam bahan yang disebut *bahan bakar inti* atau *bahan pembelah* semacam itu tidak terlalu banyak neutron hilang tertangkap dari inti atom dengan akibat makin menipisnya kemungkinan akan terjadinya pembelahan atau menghilang melalui permukaan sejumlah bahan bakar inti (yang karenanya harus mempunyai besaran minimal yang disebut *jumlah kritis*). Lagi pula neutron itu harus mempunyai energi kinetis yang terletak di daerah energi termis yang menguntungkan bagi pembelahan inti, jadi merupakan neutron termis. Hal ini dalam reaksi inti dengan zat penghambat tertentu, yang disebut *moderator.* Untuk pengereman neutron itu dengan cara yang secepat mungkin, selalu digunakan zat pengerem yang sedemikian rupanya, yang di dalam molekulnya terkandung atom yang sedapat mungkin mempunyai massa yang sama seperti neutron itu (terutama atom zat air) atau yang inti atomnya tidak menyerap neutron. Moderator yang sangat berdaya guna adalah air biasa, air berat, zat arang (grafit) dan beryllium.

Pada suatu reaksi berantai terkendali dalam reaktor inti banyak sekali neutron yang tertampung ke luar dari proses yang telah selesai oleh yang disebut *bahan penyerap* (misalnya borium dan kadmium) yang inti atomnya dapat sekali menangkap neutron, sehingga menjadi stabil pada suatu tahap reaksi tertentu, yaitu tidak berlangsung dengan ledakan. Suatu reaksi berantai pada waktu sekarang hanya diperoleh dengan isotop uranium U-235, dengan isotop plutonium Pu-239, yang misalnya diperoleh dalam reaktorpengeram (Brüter) dengan reaksi berantai dari U-235 dalam jumlah yang lebih besar U-238, atau dengan isotop uranium U-233 yang diperoleh dengan cara serupa dari isotop thorium Th-232.

Energi inti yang menyerang dalam reaktor inti dalam bentuk panas untuk sebagian besar (yang disebut *reaktor hasil karya*) diubah menjadi energi listrik (reaktor inti mengambil alih peranan sebagai pemanas ketel uap dari pabrik dengan pembangkit tenaga dengan panas yang konvensional) atau digunakan untuk membangkitkan energi penggerak mekanik dalam kapal dengan energi inti sebagai penggerak. Namun di masa depan reaktor inti itu akan digunakan juga sebagai pemanasan proses untuk melaksanakan reaksi kimia dalam teknik secara besar-besaran. Dalam reaktor penelitian dan percobaan sebaliknya panas yang timbul itu dibuang tanpa digunakan dan hanya aliran neutronnya yang besar digunakan untuk tujuan penelitian dan percobaan (misalnya untuk pengujian bahan).

27. Reaktor Inti I

Kebanyakan reaktor inti yang dibangun di seluruh dunia adalah yang disebut *reaktor termis*, tempat pembelahan inti hampir sama sekali dilakukan dengan neutron berenergi panas. Namun neutron yang terjadi dalam bahan bakar inti karena pembelahan ini, seperti juga produk pembelahannya beterbangan dari situ dengan kecepatan tinggi. Untuk menjadikannya energi termis, neutron itu setelah meninggalkan bahan bakar inti harus dihentikan (direm) dalam moderator di sekitarnya oleh karena bertumbukkan dengan inti atom moderator itu, sehingga neutron itu telah mendapatkan energi pertengahan dari inti tersebut, yakni energi termisnya. Neutron termis ini kemudian dengan kemungkinan yang pasti memasuki lagi jalur reaksi yang telah diisi kembali dengan bahan bakar inti — jalur tersebut bersama dengan moderator membentuk inti reaktor yang dinamakan *core* — dan di situ dapat menimbulkan pembelahan lebih lanjut. Untuk mencegah hilangnya neutron, *core* di samping itu diselubungi dengan reflektor neutron khusus. Moderator yang sangat berdaya-hasil adalah air biasa (normal), air berat dan zat arang (dalam bentuk grafit), air berat karena penampang penangkap neutronnya paling menguntungkan, air normal karena penampang penangkap neutronnya lebih tinggi hanya dapat digunakan jika digabungkan dengan uranium yang telah diperkaya. Jika reaksi berantai itu dipertahankan pada tingkat produksi yang tetap, maka keadaan reaktor inti itu *stasioner*. Jika perbandingan jumlah neutron dalam dua angkatan pembelahan berturut-turut, yang disebut faktor perkalian (multiplikasi) lebih besar dari 1, sistem itu dikatakan terlampau kritis; tahap pembelahan dan karenanya juga kepadatan neutronnya dan produksinya bertambah secara tetap. Jika faktor multiplikasi itu lebih kecil daripada 1, yakni jika reaktor inti itu *di bawah kritis*, kepadatan neutron dan produksinya berkurang secara tetap.

Pengendalian reaksi inti berantai yang berakhir dalam reaktor inti dan dengan itu suatu pengaturan produksi dapat terjadi, misalnya dengan mengubah jumlah bahan yang dapat dibelah dalam inti

Gambar 1: Pembelahan inti uranium-235 oleh sebuah neutron.

Gambar 2: Reaksi berantai dari inti dan penghambatan neutron.

Gambar 3: Reaktor air bertekanan. dalam skema

Gambar 4: Reaktor air mendidih dalam skema.

reaktor atau susunan dari moderator dan bahan bakar. Dalam praktik digunakan hampir kenyataan belaka, bahwa inti atom dari berbagai bahan mempunyai penampang penangkap neutron yang sangat tinggi. Jadi dalam reaktor inti dibuat batang pengatur dan pengendali, misalnya dari kadmium, borium atau hafnium, yang dari luar sedikit banyaknya dapat disorongkan jauh ke dalam jalur reaksi. Kedalaman mencelupkannya harus sedemikian tepatnya, sehingga untuk setiap pembelahan inti di tengah hanya tersisa suatu neutron yang terjadi untuk pembelahan baru.

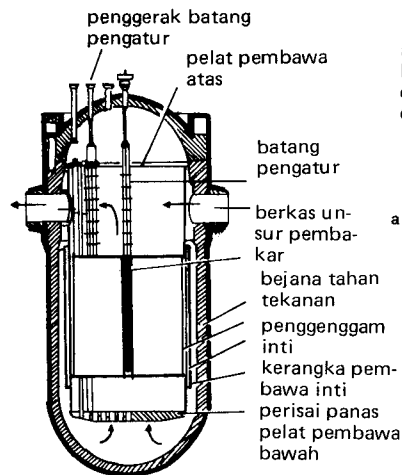
Produk pembelahan yang timbul pada pembelahan inti biasanya tidak stabil, melainkan berubah karena adanya serentetan penguraian radioaktif dengan memancarkan sinar Beta dan Gamma agar cepat menjadi inti atom yang stabil: inti tersebut dinamakan radionuklid atau radioisotop, yaitu nuklid atau isotop berbagai unsur kimia yang beratnya sedang yang terurai secara radioaktif. Oleh karena itu reaktor inti bukan saja merupakan suatu neutron yang sangat kuat, melainkan juga penghasil secara besar-besaran dari radionuklid dan dengan demikian sumber sinar radioaktif yang sama intensifnya. Maka itu reaktor tersebut diselubungi dinding yang menyerap sinar tersebut, dan disebut *perisai pelindung*, untuk melindungi para pekerja yang melayaninya dan lingkungan terhadap sinar yang berbahaya itu. Dalam praktek: beton, baryta (barium-monoksida), air, besi dan timah hitam telah terbukti baik sekali sebagai bahan pelindung. Nuklid radio yang lambat laun terkumpul dalam bahan inti yang "terbakar" dalam beberapa waktu dipisahkan dari bahan ini secara kimia, hal mana terjadi setelah dikeluarkannya unsur pembakar atau batang pembakar yang terisi dengan bahan bakar inti di dalam apa yang disebut peralatan pembaru.

Jenis reaktor inti termis yang pada waktu ini paling banyak digunakan dalam pabrik bertenaga inti untuk membangkitkan arus listrik adalah reaktor dengan tekanan air dan reaktor dengan air mendidih, yang susunan secara skemanya beserta bagian pabrik/pembangkit konvensional dengan turbin dan generator untuk membangkitkan arus listrik diperlihatkan dalam gambar 3 dan 4.

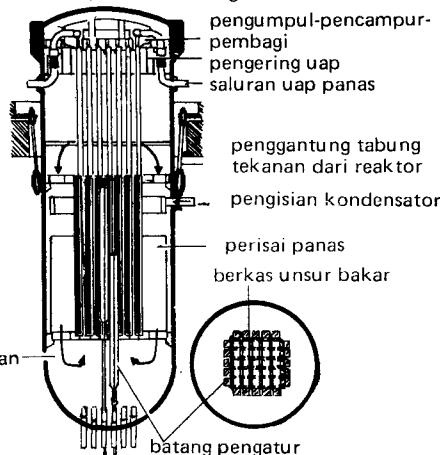
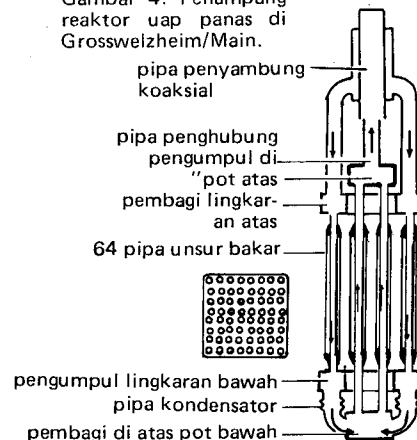
Reaktor Inti (II)
(Cara Membangun dan Jenisnya)

Reaktor air bertekanan (bahasa Inggris: *Pressurized Water Reactor;* disingkat: PWR) adalah sebuah reaktor termis yang sederhana, tempat air biasa (H_2O) atau juga air berat (D_2O) pada tekanan 120 hingga 160 bar digunakan sebagai alat pendingin dan sekaligus sebagai moderator. Tekanan tinggi dalam perputaran primer dan naiknya titik-didih yang ditimbulkannya karenanya menghalangi pembentukan uap di dalam *core*. Sebagai bahan baku digunakan uranium (dalam bentuk uraniumdioksida) yang agak diperkaya (rata-rata 3%) dengan U-235, yang berada dalam tabung logam tertutup secara kedap gas dan bersama dengan tabung tersebut membentuk apa yang disebut batang pembakar. Air dari lingkaran/rangkaian primer terus-menerus diedarkan dengan pompa. Panas di dalam *core* yang diambil dari air sampai di lingkaran sekunder melalui penukar panas; di situ panas itu melalui turbin dan generator diubah menjadi energi listrik.

Sebuah contoh untuk jenis reaktor ini adalah reaktor air bertekanan, yang dibangun dalam pabrik tenaga inti Obrigheim di tepi sungai Neckar (bahasa Jerman: *Kernkraftwerk Obrigheim;* disingkat KWO), yang pada produksi termis sebesar 907,5 MW menghasilkan tenaga listrik sebesar 283 MW (gambar 1). Inti reaktor itu disimpan di dalam tangki yang tahan tekanan dengan garis tengah-dalam berukuran 3,27 m. Air pendinginnya memasuki reaktor dengan suhu 283°C, dan meninggalkan tangki tahan tekanan dengan suhu 310°C. Dalam peralatan penghasil uap dihasilkan uap jenuh sebesar 50 bar/263°C. Inti reaktor itu dibuat dari 121 unsur pembakar, yang masing-masing terdiri atas 180 batang pembakar. Untuk pengaturan dalam jangka pendek tersedia 27 batang pengatur yang terbagi secara merata di atas inti reaktor, dan dimasukkan dari atas ke dalam inti.

Reaktor-air-mendidih (bahasa Inggris: *Boiling Water Reactor;* disingkat: BWR) dalam bentuk dan dalam unsur pembakarnya se-

Gambar 1: Penampang reaktor air bertekanan KWO di Obrigheim/Neckar.

Gambar 2: Skema peredaran dalam reaktor air mendidih (sistem dua rangkaian/edaran).

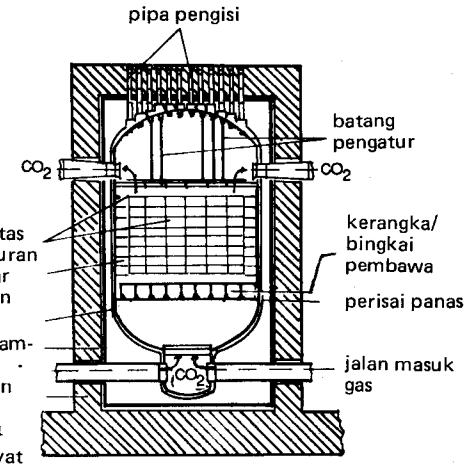
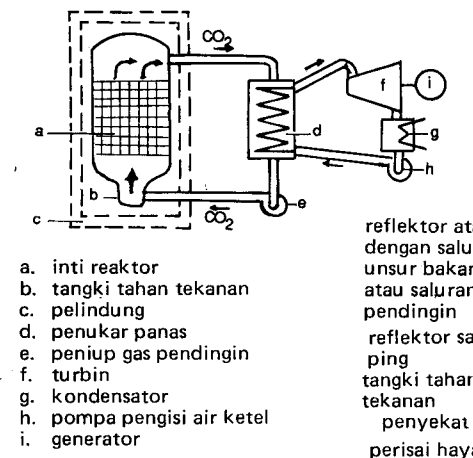
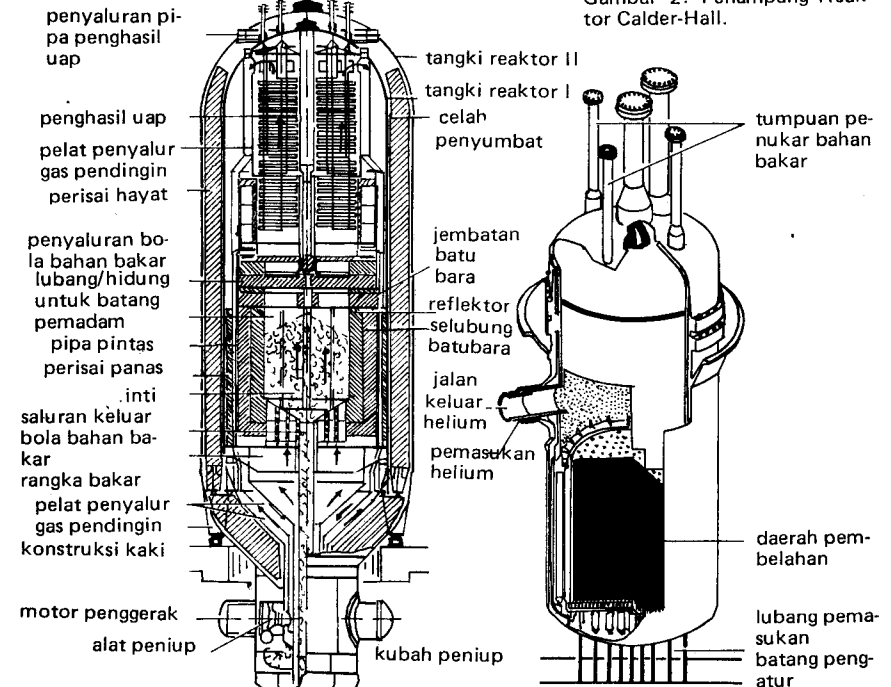
Gambar 3: Penampang reaktor air mendidih KRB di Gundremmingen/Donau.

Gambar 4: Penampang reaktor uap panas di Grosswelzheim/Main.

Gambar 5: Berkas unsur bakar dari sebuah reaktor uap panas (dalam skema).

rupa dengan reaktor-air-bertekanan; ia hanya akan bekerja pada tekanan sebesar 70 bar, sehingga di dalamnya air pendingin dapat mendidih. Bejana reaktor biasanya mempunyai kubah uap di atas permukaan air, dengan mana penyimpangan yang agak kecil dalam tekanan dapat disamakan. Dalam reaktor biasanya dihasilkan uap jenuh yang *atau* langsung disalurkan *dalam peredaran langsung* ke turbin *atau* di dalam *peredaran tidak langsung* untuk memperoleh uap sekunder kemudian masuk ke dalam pengubah uap. Pada apa yang disebut *sistem dua putaran* (gambar 2) dari tangki tahan tekanan ke luar campuran uap dengan air yang masuk ke dalam pemisah air. Uapnya mengalir terus melalui sebuah katup ke turbin, air yang terpisah dikirim kembali melalui sebuah pompa dan melalui penukar panas dalam ketel reaktor. Di sini sekunder dari penukar panas terjadi uap bertekanan rendah, yang juga dikirim ke turbin melalui sebuah katup. Menurut sistem ini bekerjanya pabrik tenaga inti KRB, yang dibangun di Grundremmingen. Reaktor KRB menghasilkan tenaga listrik sebesar 237 MW (gambar 3) pada produksi termis 801 MW.

Suatu jenis lain dari reaktor air mendidih adalah *reaktor uap-panas* (bahasa Jerman: *Heiszdampfreaktor:* HDR), tempat uang jenuh yang diperoleh disalurkan lagi ke *core* untuk menyerap lebih banyak energi panas dan dipanaskan secara melebihi batas; oleh karenanya keadaan uap dan taraf daya-hasilnya tercapai, seperti lazimnya pada instalasi konvensional. Pada reaktor uap-panas (misalnya instalasi di Grosswelzheim/Main) berkas unsur pembakarannya terdiri atas tabung unsur pembakaran, yang didinginkan dari luar oleh air mendidih, tempat terjadi uap jenuh, yang kemudian mengalir melalui bagian dalam dari tabung, mendinginkan elemen itu dari dalam dan dalam pada itu dipanaskan melampaui batas (gambar 4).

Reaktor Inti (III)
(Cara Membangun dan Aneka Jenisnya)

Reaktor yang didinginkan dengan gas: Jenis reaktor yang telah diuji di antaranya adalah reaktor, yang *core*-nya (intinya) didinginkan dengan gas; dibandingkan dengan reaktor yang didinginkan dengan cairan reaktor tersebut mempunyai kelebihan, bahwa di sini tidak terjadi masalah perkaratan. Pada *reaktor-gas-grafit* (RGG) digunakan dioksida arang (CO_2) sebagai alat pendingin dan grafit sebagai modulator (skema perputaran gambar 1). Termasuk dalam jenis ini Reaktor-Calder-Hall (Inggris), yang menggunakan uranium alami sebagai bahan bakar. Intinya terdiri atas sebuah tunggul grafit besar yang berbentuk silinder (gambar 2), yang terbagi menjadi 58.000 balok yang dilalui oleh hampir 1700 saluran yang tegak lurus. Unsur bakar berbentuk batangan yang panjangnya kira-kira 1,0 m dan tebalnya kira-kira 30 mm disusun dalam saluran ini sedemikian rupa, sehingga antara unsur bakar dan dinding saluran tersisa suatu celah bebas, untuk dialiri gas pendingin. Banyaknya panas yang diserap dari gas dalam inti reaktor dipindahkan dalam penukar panas yang dipasang di luar tangki-tahan-tekanan dari reaktor ke peredaran-air-uap-sekunder. Dalam penghasil uap ini dihasilkan uap jenuh, yang menggerakkan turbin. Reaktor-Calder-Hall pada produksi termis sebesar 180 MW menghasilkan tenaga listrik sebesar 34,5 MW. Garis tengah dalam dari tangki tahan tekanan adalah 11,3 m, tingginya 21,8 m, tebal dindingnya kira-kira 50 mm. Reaktor itu dikendalikan dengan 160 batang. Pada waktu gas memasuki reaktor temperaturnya adalah 140°C, pada waktu meninggalkannya temperaturnya 345°C. *Reaktor-gas-grafit-yang-lebih maju* (Inggris: *Advanced-Gas-Cooled Reactor;* disingkat: AGR) dalam unsur bakarnya yang diselubungi bajamulia berisi uraniumdioksida (UO_2) berbentuk terak, yang kadar U-235-nya diperkaya dengan 1,6 hingga 2,5%, sebagai bahan bakar. Reaktor itu mempunyai suhu operasi yang lebih tinggi dan dengan demi-

Gambar 1: Skema peredaran dalam reaktor yang didinginkan dengan gas dari type Calder-Hall.

Gambar 2: Penampang Reaktor Calder-Hall.

Gambar 4: Penampang reaktor tumpukan bela/peluru di Julich.

Gambar 3: Tangki tahan tekanan dari sebuah reaktor dengan bagian dalam dari HTGR (reaktor dengan suhu tinggi) di Peach Bottom.

kian juga suhu alat pendingin yang lebih tinggi (di atas 600°C), sehingga tercapai keadaan uap-segar dan taraf daya hasil dari pabrik tenaga uap tradisional. Dua reaktor semacam itu dijalankan dalam pabrik tenaga inti dari Dungeness di Inggris; mereka menghasilkan seluruhnya 1200 MW.

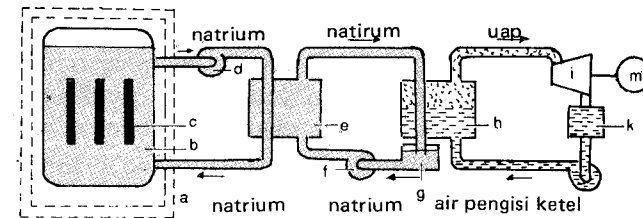
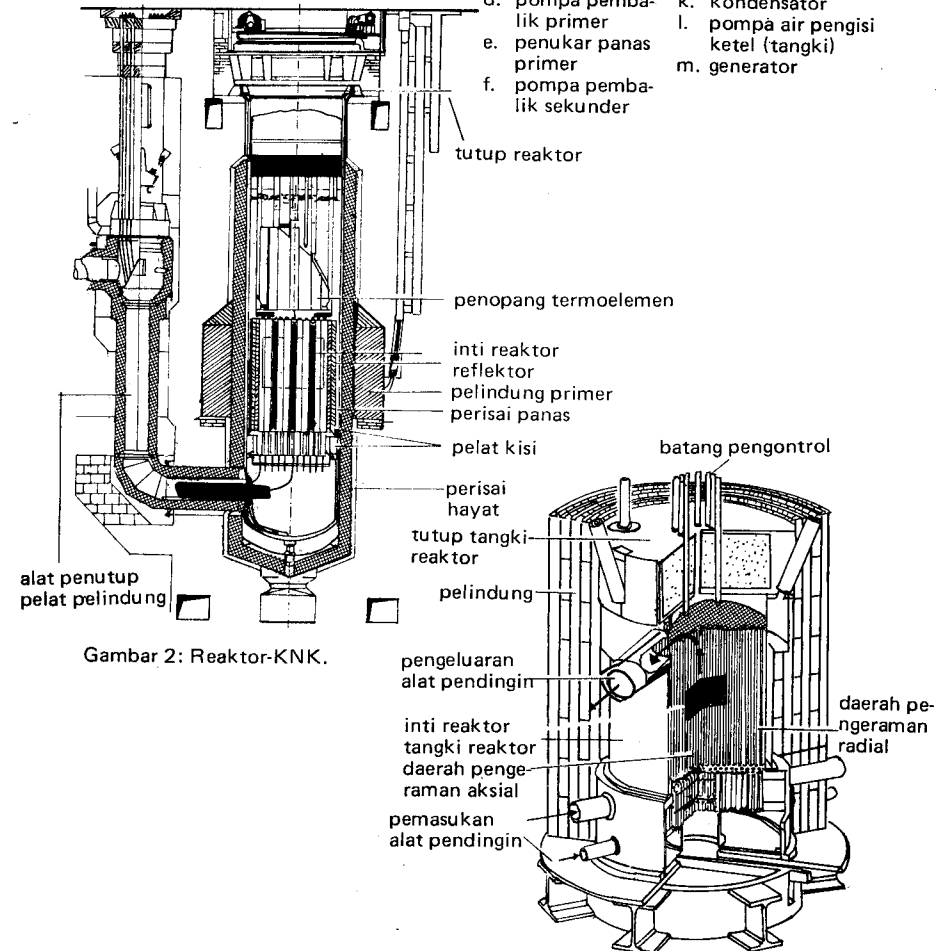
Reaktor dengan suhu tinggi (Inggris: *High Temperature Gas Cooled Reactor;* disingkat: HTGR) adalah reaktor yang menggunakan grafit sebagai moderator dan didinginkan dengan gas helium, dengan kepadatan produksi yang tinggi (kira-kira 10 MW/m^3). Unsur bakarnya berbentuk bola atau balok dan terdiri atas campuran grafit dan bagian bahan bakar yang kecil dan berbentuk bola, lagi pula diselubungi oleh lapisan zat arang yang telah mengalami perubahan karena pemanasan (ferolitik) setebal 0,1 mm; bagian bahan bakar itu disebut *coated particles* (= partikel yang dilapisi; garis tengahnya 0,4 mm). Sebagai bahan bakar digunakan campuran dari uranium dan thorium-carbida, tempat uranium yang telah diperkaya hingga dengan 92% digunakan sebagai bahan pembelahan dan thorium sebagai bahan pengeraman. Karena suhu yang tinggi penyelubung dari unsur bakar itu tidak terbuat dari logam, melainkan dari bahan keramik (misalnya: silisiumkarbida, SiC), yang — di samping selubung zat arang dari bagian bahan bakar — merupakan penghalang lebih lanjut terhadap pelepasan sebagian besar dari produk pembelahan. Unsur bakar yang dialiri helium sekelilingnya memanaskan yang terakhir pada suhu lebih dari 750°C, sehingga pemasangan turbo generator modern menjadi mungkin (530°C suhu uap panas).

Contoh untuk *reaktor temperatur tinggi* adalah HTGR yang dilukiskan dalam gambar 3 di Peach Bottom (Pennsylvania, USA) dengan lebih dari 800 unsur bakar yang berbentuk batang yang dikelilingi oleh sebuah reflektor grafit setebal 60 cm, dan reaktor percobaan-AVR yang dibangun di Jülich Jerman Barat (gambar 4), sebuah *reaktor-tumpukan-bola* dengan unsur bakar yang berbentuk bola, yang selama dijalankan dapat dimasukkan ke dalam dan dikeluarkan dari reaktor. Unsur bakarnya adalah bola grafit yang kosong (garis tengah 6 cm, tebal kulit 1 cm), diisi dengan apa yang disebut *matriks*, yang mengandung uranium yang sangat diperkaya dalam bentuk bagian uranium dan thorium-dikarbida yang berlapisan, dicampur dengan serbuk grafit. Satu tumpahan sebanyak 100.000 bola membentuk inti reaktor, yang dikelilingi oleh reflektor grafit setebal 50 cm dan yang berada di bagian bawah dari

tangki tahan tekanan. Helium yang digunakan sebagai gas pendingin dipanaskan dari 175°C hingga 850°C dan menghasilkan uap panas setinggi 505°C dan 75 bar. Instalasi di Jülich pada produksi/kapasitas reaktor termis 46 MW memperoleh tenaga listrik sebesar 15 MW.

Reaktor Inti (IV)
(Cara Membangun dan Aneka Jenisnya)

Reaktor-Natrium-Grafit adalah reaktor inti (skema peredarannya pada gambar 1) yang didinginkan dengan natrium cair, dan dengan grafit sebagai moderator. Penggunaan natrium sebagai pembawa panas dengan titik-didih tinggi memungkinkan penyaluran panas yang timbul dalam reaktor pada suhu yang memuncak tingginya dan dalam pada itu menghindari penggunaan tangki-tahan-tekanan yang tebal-tebal; sebagai alat pendingin pada peredaran kedua kebanyakan juga digunakan natrium. Namun kekurangannya adalah hebatnya reaksi natrium dengan air dan dengan zat asam di udara; tambahan pula, pencampuran sedikit natriumoksida saja sudah menimbulkan pengaratan yang meningkat pada baja anti-karat yang digunakan sebagai bahan konstruksi. Karena natrium dibandingkan dengan bahan moderator mempunyai penampang tangkap yang relatif besar untuk neutron, harus diambil tindakan pencegahan terhadap mengalirnya natrium dari inti-reaktor, guna menghindari bertambah kuatnya reaksi inti berantai secara mendadak. Karena natrium cair dapat menembus grafit, sehingga penyerapan neutron dalam moderator yang merugikan itu jadi meningkat sekali, unsur grafit dari moderator itu dibungkus dengan zirkonium. Selubung ini dapat dihindari, jika dipilih zirkonium-hydrida sebagai moderator seperti pada reaktor-KNK yang berada di Karlsruhe (gambar 2). Ke-66 unsur bakar dari reaktor tersebut berada dalam sebuah tangki baja bergaris tengah 1,9 m: Setiap unsur bakar terdiri atas dua deretan batang pembakar yang tersusun sebagai lingkaran, yang ruang antaranya diisi dengan bahan zirkoniumhydrida. Sebuah bingkai (mantel) dari baja anti-karat digunakan sebagai reflektor. Kedua penghasil uap (kapasitas termis 29 MW) menghasilkan uap panas setinggi 510°C dan 85 bar. Dengan itu diperoleh tenaga listrik sebesar 17,8 MW.

Reaktor pengeraman (Brüter): Kenyataan bahwa pada pembelahan inti dengan neutron kadang-kadang lebih dari satu neutron

Gambar 1: Skema peredaran reaktor Natrium-Grafit.

Gambar 2: Reaktor-KNK.

Gambar 3: Penampang/potongan reaktor pengeraman cepat.

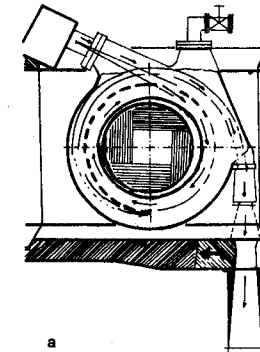
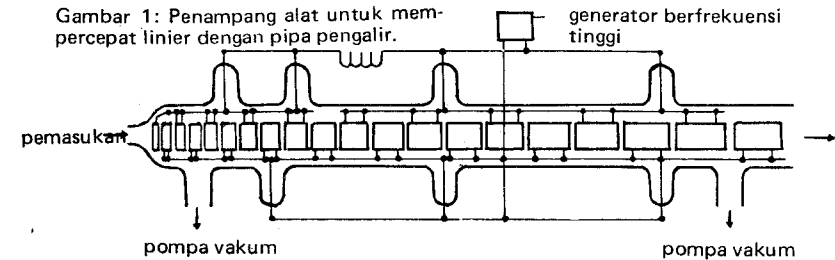
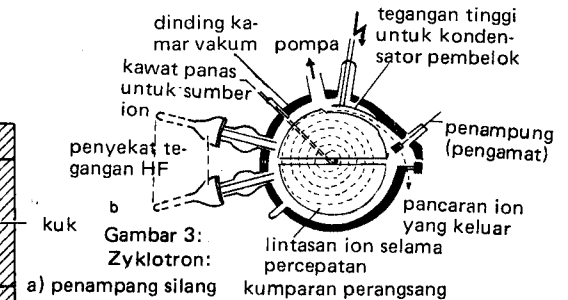
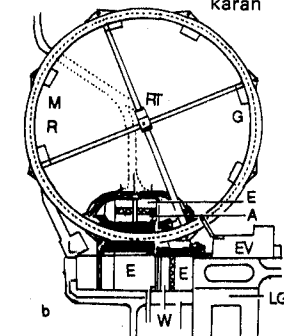
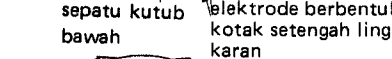
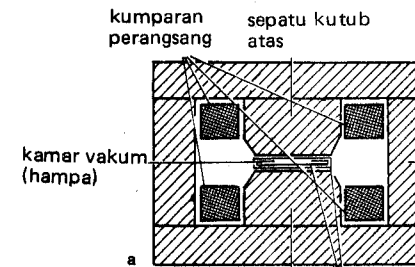
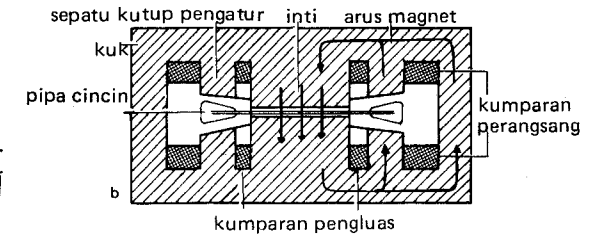
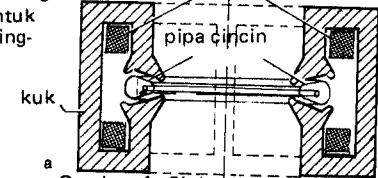
baru dilepaskan, bukan saja memungkinkan dipertahankannya reaksi-inti-berantai, melainkan juga dengan persyaratan tertentu "pengeraman" dari bahan yang dapat dibelah yang baru; oleh karenanya dihasilkan lebih banyak bahan yang dapat dibelah daripada yang dihabiskan untuk menghasilkan energi pada waktu yang bersamaan. Untuk proses ini sangat cocok untuk menggunakan isotop uranium U-238 dan isotop thorium Th-232. Pada *proses atau siklus pengerasan Uranium-Plutonium* neutron yang terjadi pada pembelahan U-235 mengakibatkan berubahnya inti-U-238 menjadi inti-Pu-239 yang dapat dibelah. Penggunaan neutron yang lebih cepat di sini membawa keuntungan, karena daya hasil untuk Pu-239 dalam daerah energi cepat adalah lebih tinggi daripada energi panas. Hal ini dapat dicapai dengan menghilangkan moderator yang diperlukan sekali untuk penghambatan neutron. Apa yang dinamakan *reaktor-pengeraman-cepat* yang terjadi, karenanya mempunyai inti yang kompak, yang hanya mengandung unsur bakar yang sangat diperlukan dan alat pendingin. Berlawanan dengan siklus U-P adalah cara kerja siklus-thorium-Uranium, tempat neutron yang terjadi karena pembelahan inti dari inti-U-235 mengakibatkan berubahnya inti-Th-232 menjadi inti-U-233 yang dapat dibelah, dalam daerah energi termis secara lebih menguntungkan. Dibandingkan dengan *reaktor-pengeraman yang cepat* maka *reaktor-pengeraman termis* itu ditandai oleh hasil pengeraman yang lebih kecil, kebutuhan akan bahan pembelahan yang lebih kecil demikian pula oleh tidak adanya masalah keamanan khusus. Sangat penting bagi dijalankannya proses pengeraman adalah, bahwa peralihan dari reaktor-inti biasa menjadi *reaktor-pengeraman* pada siklus-U-P memungkinkan dimanfaatkannya persediaan uranium dengan 50 kali lebih baik dan pada siklus-Th-U mengizinkan dipergunakannya cadangan thorium yang banyak didapati dalam alam. Sedang pengeram termis dapat dikembangkan dari jenis yang ada (reaktor bertekanan atau reaktor-air-mendidih dengan pendinginan D_2O, reaktor temperatur-tinggi), pengeram cepat itu menggambarkan suatu jalan yang sangat baru dalam teknologi (gambar 3). Semua reaktor-pengeraman menggunakan unsur bakar yang berbentuk batangan dan natrium sebagai alat pendingin yang disebut reaktor cepat yang didinginkan oleh natrium, (bahasa Jerman: *Schnelle Natrium-gekühlte Reaktoren;* disingkat: SNR). Dalam reaktor tersebut intinya dikelilingi oleh jalur pengeraman, di mana ditampung neutron dari bahan pengeraman yang keluar dari *core*. Proyek SNR yang

paling terkenal atau SNR yang masih berjalan adalah yang berada di Republik Federal Jerman SNR-300 di Kalkar, di Inggris DFR di Dunreay, di Perancis Phenix, di Amerika-Serikat Enrico-Fermi (dihentikan tahun 1973).

28. Alat untuk Mempercepat Bagian Atom

Untuk menyelidiki bentuk inti atom dibutuhkan tembakan peluru yang berenergi tinggi, yang sedapat mungkin lebih kecil daripada inti atom itu sendiri. Untuk maksud tersebut sangat cocok untuk menggunakan bagian unsur yang stabil seperti elektron dan proton, tetapi juga inti atom itu sendiri. Karena bagian atom ini mengandung muatan listrik, bagian tersebut dapat dipercepat oleh medan listrik atau tegangan listrik. Karena alasan isolasi tegangan yang lebih tinggi dari beberapa juta Volt tidak dapat dipertahankan, maka itu untuk mendapatkan energi yang lebih tinggi harus digunakan asas percepatan berganda dari pemercepat linier atau lingkaran. Dalam *pemercepat linier* bagian yang bermuatan dalam sebuah bejana vakum melalui suatu pipa logam yang terbagi menjadi banyak bagian, yang setiap potongnya disebut pipa penyalur/penggerak yang secara bergantian dihubungkan dengan kutub (sambungan) dari sebuah generator yang berfrekuensi tinggi (gambar 1). Percepatan kadang-kadang terjadi pada celah, sejauh bagian itu selalu datang, jika penghubungan tegangan itu dengan kutub secara bergantian berkala seirama dengan frekuensi tinggi misalnya 500 MHz dan lebih lagi), menimbulkan percepatan. Selama penghubungan yang terbalik dari kutub bagian itu berada dalam ruang dalam yang bebas dari medan. Karena kecepatan bagian yang bertambah maka panjang tiap-tiap tabung penyalur itu harus menjadi makin panjang. Untuk elektron yang karena massanya sangat kecil pada energi yang rendah sudah hampir mempunyai kecepatan sinar, telah berlaku *asas pemercepat gelombang mengembara (prinsip pengendara gelombang)*; gelombang mengembara berfrekuensi tinggi (frekuensi kira-kira 3000 MHz) telah meluas sedemikian rupa, sehingga kecepatan fasenya pada setiap tempat sama dengan kecepatan elektron dan elektron yang dalam fase yang tepat "naik" di muka atau di atas salah satu gunung gelombang dipercepat secara terus-menerus, hal mana pada kecepatan tersebut mengakibatkan bertambahnya massa.

Dalam *pemercepat lingkaran* bagian yang bermuatan itu dijaga

Gambar 1: Penampang alat untuk mempercepat linier dengan pipa pengalir.

Gambar 2: Betatron: a) pandangan dari atas pada sebuah betatron b) penampang silang dari sebuah betatron.

Gambar 3: Zyklotron: a) penampang silang b) pandangan dari atas

Gambar 4: Sinkrotron: a) penampang sebuah sinkroton kecil (r radius lingkaran yang diharapkan) b) dengan sinkronproton – CERN (garis tengah lintasan bulat adalah 150 m). L pemercepat linier, R terowongan bulat, M sistem magnet bertentuk lingkaran, G ruang alat, RT terowongan radial, E ruangan percobaan (eksperimen), penyedian energi, LG perumahan karyawan, Sch pusat penyambungan.

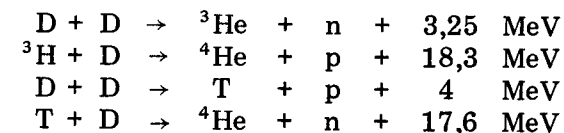
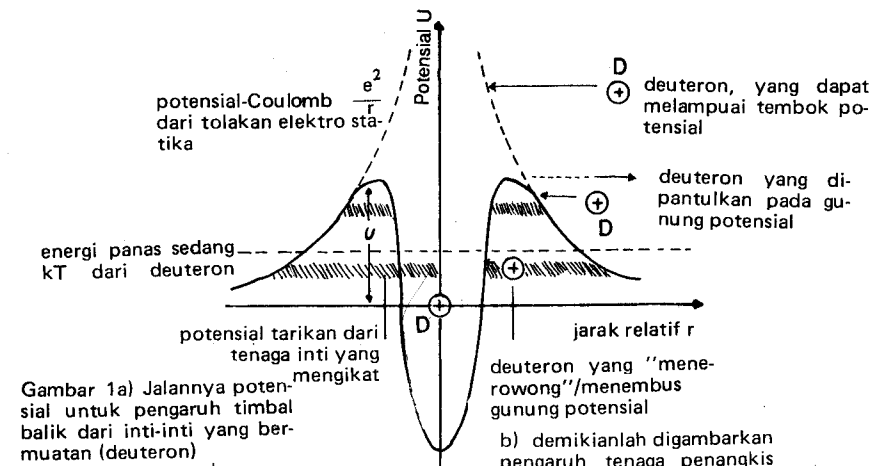
oleh medan penyalur magnetis supaya tetap berada di atas lintasan lingkaran atau spiralnya dan pada setiap perputaran memperoleh tambahan energi yang relatif kecil dalam satu atau beberapa daerah percepatan. Sebuah alat yang bekerja menurut asas transformator untuk mempercepat elektron adalah *Betatron* (gambar 2): sebuah inti dari besi yang berbentuk silinder (di tempat kumparan sekunder) dilingkari oleh tabung dari gelas atau porselen dan berbentuk cincin yang sama sekali dikosongkan udaranya (vakum tinggi). Jika dialirkan arus bolak-balik (frekuensi 50 hingga 1000 Hz) ke dalam dua kumparan perangsang (serupa dengan kumparan primer pada transformator) maka sebagai akibat induksi magnetis dalam tabung yang berbentuk cincin itu terjadi medan listrik bolak-balik dengan garis medan yang berbentuk lingkaran. Medan berpusar ini berpengaruh pada elektron yang ditembakkan, yang dengan medan pengatur magnetis dari kumparan pengendali dipaksa untuk mengikuti lintasan lingkaran yang tetap, dan ditahan di situ, sementara kira-kira seperempat dari periode arus bolak-balik dipercepat. Pada akhir periode percepatan ini, ketika elektron itu melakukan sekurang-kurangnya 10^6 putaran dan mencapai energi hingga 50 MeV, elektron itu dikeluarkan dari tabung yang berbentuk cincin dan digunakan untuk misalnya memperoleh sinar Rontgen yang banyak sekali energinya.

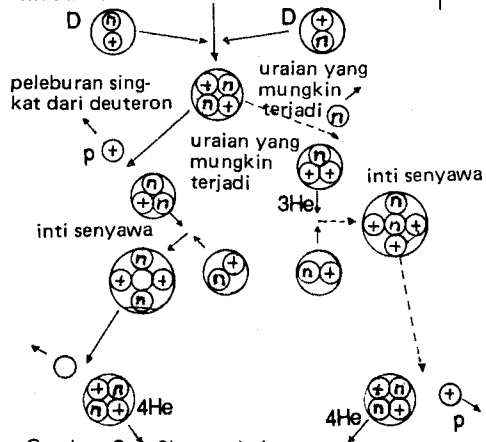
Untuk mempercepat inti atom seperti proton dan inti helium, demikian pula *ion* digunakan *zyklotron* (gambar 3): Dua kotak logam yang pipih, berbentuk D, dan terpisah oleh celah (yang disebut Duante atau De) dipasangkan dalam vakum tinggi antara kutub sebuah magnet yang kuat. Bagian yang masuk di tengah-tengah kamar vakum, bergerak dalam medan magnetnya yang homogen di atas lintasan spiral dari dalam ke luar, tempat bagian itu pada waktu melewati celah dipercepat oleh medan listrik berfrekuensi tinggi yang terdapat di antara kedua duante.

Untuk mempercepat bagian, yang kecepatannya sudah mendekati kecepatan sinar, digunakan *sinkroton* (gambar 4), di bagian itu selama seluruh proses percepatannya seperti pada *betatron* mengelilingi lintasan lingkaran dengan jari-jari yang sama; hal ini tercapai dengan dinaikkannya frekuensi dari medan listrik yang berfrekuensi tinggi yang disesuaikan dengan bertambahnya energi bagian itu dan kekuatan medan pengatur magnetis. Prinsip sinkrotron bukan saja dapat diterapkan pada proton, melainkan berlawanan dengan prinsip zyklotron juga pada elektron (energi akhir 20—100 GeV).

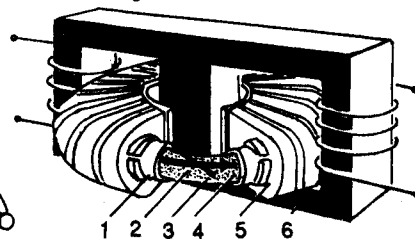
29. Penggabungan Inti (Fusi)

Penutupan setiap kebutuhan energi akan mungkin dipenuhi, bila di masa depan yang tidak begitu jauh "penjinakan bom zat air" kiranya dapat berhasil, maksudnya jika dengan cara yang dapat diawasi dan dikendalikan di dalam apa yang disebut *reaktor penggabungan* dapat diperoleh energi dengan mengumpulkan (mencairkan, menggabungkan/melebur) inti atom dari unsur kimia yang paling ringan. Dengan cara ini di matahari dan bintang dihasilkan jumlah energi, yang mereka pancarkan secara terus-menerus dalam ruang angkasa. Juga akibat yang menghancurkan dari ledakan bom zat air berdasarkan energi yang menjadi bebas pada proses fusi semacam itu: Dengan bom atom sebagai penyundut bom zat air menjadi eksplosif, yaitu digerakkannya reaksi berantai dari proses pencairan inti yang berlangsung tak terkendalikan. — Pencairan inti semacam itu terjadi misalnya, jika dalam campuran gas deuterium dan tritium (zat air berat dan berat sekali ^2H atau ^3H) inti atom yang bermuatan positif bertumbukan antara satu dengan yang lain dengan energi yang sedemikian tingginya, sehingga tolakan elektro statis yang terdapat antara inti atom tersebut dikalahkan (gambar 1): Jika demikian inti itu melebur menjadi satu, dalam hal mana unsur pembangun inti, proton (p) atau neutron (n), dibebaskan dan terbang melenyap dengan energi kinetis yang tinggi. Proses yang terpenting yang mungkin terjadi dalam campuran deuterium-tritium adalah:

$$\begin{aligned} D + D &\rightarrow {}^3He + n + 3{,}25\ \text{MeV} \\ {}^3H + D &\rightarrow {}^4He + p + 18{,}3\ \text{MeV} \\ D + D &\rightarrow T + p + 4\ \text{MeV} \\ T + D &\rightarrow {}^4He + n + 17{,}6\ \text{MeV} \end{aligned}$$

Di sini D berarti inti Deuterium (deuteron), T inti tritium (triton), ^3He atau ^4He inti Helium dengan jumlah massa 3 atau 4;

Gambar 1a) Jalannya potensial untuk pengaruh timbal balik dari inti-inti yang bermuatan (deuteron)

b) demikianlah digambarkan pengaruh tenaga penangkis elektrostatis

Gambar 2 : Skema dari proses penggabungan inti terpenting dalam campuran deuterium tritium.

Gambar 3 : Plasma deuterium yang terionisasi sepenuhnya; suatu elektron memancarkan pancaran hambatan, begitu lintasannya sebagai akibat dari pengaruh timbal balik dengan bagian-bagian lainnya tidak lagi lurus.

Gambar 4 : Pemasukan plasma dalam suatu konfigurasi medan magnet terodial

Gambar 5 : Tokamak (Skema)
1. tabung pelepas muatan
2. benang plasma yang menyalurkan arus (Pinch)
3. garis medan magnet yang terpilin karena bertumpang tindihnya medan arus kumparan dan plasma
4. plasma
5. kumparan medan magnet
6. transformator dengan gulungan primer.

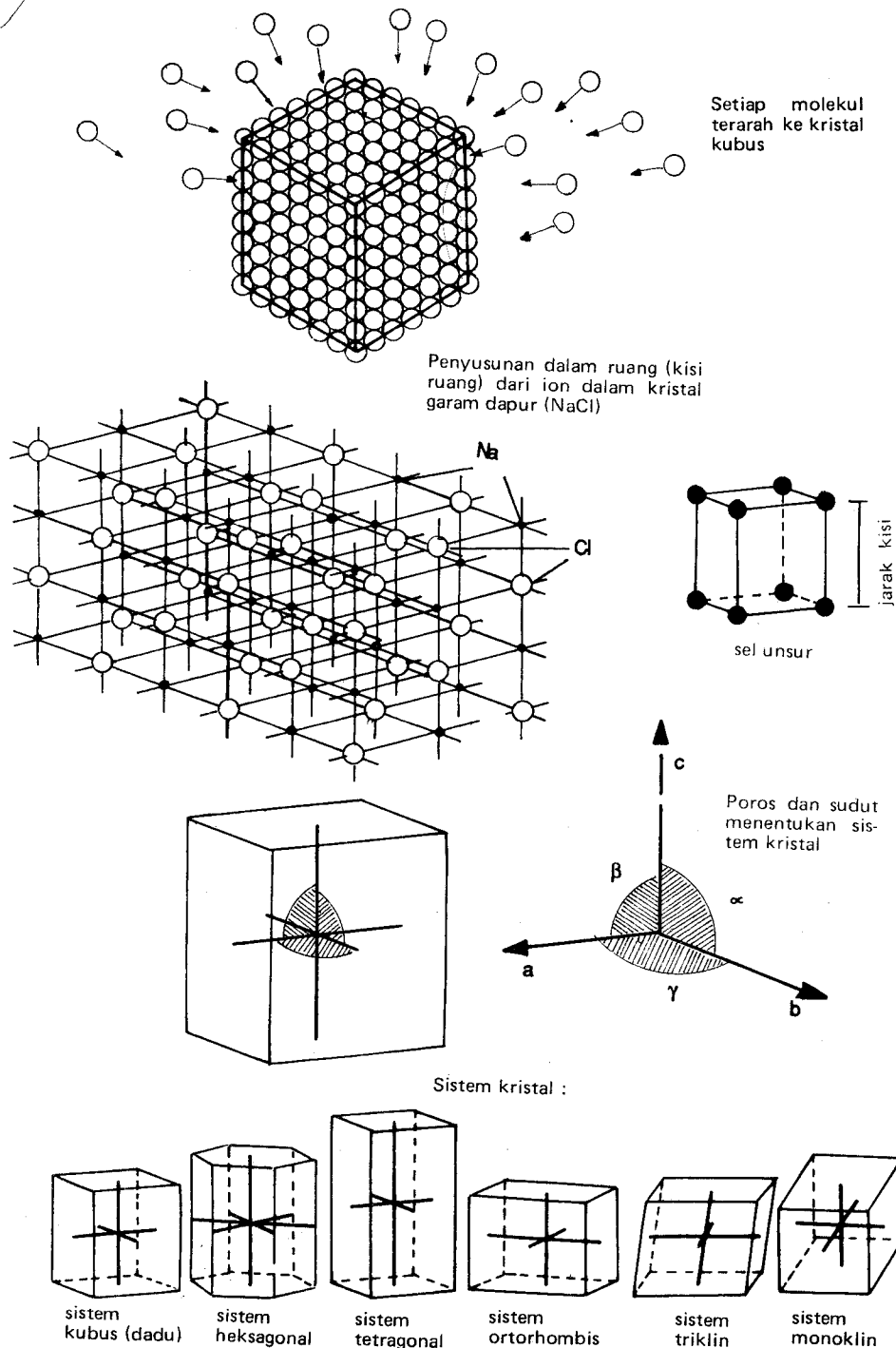
energi yang menjadi bebas dinyatakan dalam Mega-elektron-Volt (1 MeV = $4{,}45.10^{-20}$ kWh). Dengan menggunakan deuterium murni sebagai "bahan bakar" dapat diperoleh energi sebesar kira-kira 10^{25} kWh dari sejumlah besar air berat (deuteriumoksida) yang terdapat di perairan di dunia ini.

Proses fusi hanya terjadi, jika inti atom itu bertumbukan dengan kecepatan yang tinggi. Untuk itu campuran gas-deuterium-tritium yang digunakan sebagai bahan bakar harus dipanaskan hingga temperatur T yang sedemikian tingginya, sehingga energi menengahnya $k_B T$ dari bagiannya (k_B konstante-Boltsman) sekurang-kurangnya berjumlah 10 keV (ini adalah energi, ketika sudah terjadi proses fusi sebagai akibat dari efek terowongan kwantummekanik dengan frekuensi yang mencukupi) dan cukup banyaknya inti yang bereaksi antara sesamanya dalam "pertumbuhan termis" (dalam apa yang disebut *reaksi termonuklir*). Temperatur yang dibutuhkan berkisar pada kira-kira $T \approx 100 \cdot 10^6$ K; temperatur itu juga cukup tingginya, sehingga energi yang menjadi bebas dapat menutupi kehilangan energi yang tidak dapat dihindarkan karena pemancaran (terutama pancaran rem). Jika berhasil untuk mengumpulkan energi yang menjadi bebas selama jangka waktu tertentu, maka secara otomatis dapat dilakukan pemanasan gas. Karena gas ini terdapat dalam bentuk *plasma yang berionisasi sepenuhnya* — semua atom itu diuraikan menjadi elektron yang bergerak bebas dan inti atom "telanjang" —, dengan bantuan medan magnet yang kuat (kepadatan arus kira-kira 10 Tesla) jalannya garis medan dapat diperas/dipadatkan hingga menjadi suatu daerah ruang kecil dan karenanya "tertutup". Yang paling banyak mengandung harapan untuk itu nampaknya apa yang disebut "botol magnetis" yang berbentuk torus (tabung berbentuk lingkaran), terutama instalasi yang bekerja menurut asas transformator dan disebut "Tokamak" (gambar 5). Tabung logam berbentuk torus yang kedap udara melingkari kaki tengah dari inti besi berkaki tiga yang besar, yang pada kakinya yang lain mengandung kumparan primer. Jika gas yang berada dalam torus diionisasi dengan frekuensi tinggi dan dengan demikian dapat menghantarkan tenaga listrik, maka dalam plasma ini dengan pelepasan muatan baterai kondensator melalui kumparan primer diinduksikan suatu arus yang kuat (kekuatan arus hingga di atas 200,000 A), di mana pembawa muatan bergerak melalui torus pada lintasan berbentuk lingkaran. "Benang arus" ini — sebagaimana juga semua arus listrik

yang mengalir sejajar — saling tarik-menarik secara berlawanan, sehingga cincin plasma yang menyalurkan arus itu makin mengumpul (yang disebut *efek jepitan);* pemadatan plasma menjadi tekanan/*jepitan melingkar (seperti torus)* yang diakibatkannya berkaitan dengan sangat ditingkatkannya temperatur.

30. Kristal

Zat yang mempunyai bidang batas licin/rata, yang saling bertemu lagi dalam sudut yang kembali lagi secara teratur, dan dalam arah yang berbeda kadang-kadang mempunyai sifat lain (sifat dapat dibelah, dapat digores, kekerasan, pembiasan sinar, dan sebagainya), adalah kristal. Sifat tersebut adalah akibat dari susunan yang amat tertentu, menurut ketentuan mana tersusun kristal hingga dalam satuan yang terkecil pun. Dunia materi kita dapat dibagi-bagi menjadi bagian yang makin kecil saja. Sebuah kuku dapat dibelah dua dan belahannya selalu dapat dibelah lagi dan demikian selanjutnya, sehingga tidak mungkin lagi, karena dengan tenaga mekanik yang biasa tidak dapat lagi diperoleh atom atau molekul atau ion yang dapat dibagi. Jika atom, ion atau molekul ini dalam larutan, leburan atau dalam uap dapat bergerak bebas dan jika persyaratan di sekitarnya (temperatur, konsentrasi dan sebagainya) mengizinkan, sehingga larutan atau uap itu menjadi jenuh atau leburan itu mulai membeku, maka atom, ion atau molekul itu tersusun secara teratur dan berkumpul menjadi satu. Dalam pada itu tujuannya untuk mengumpulkan kawan sebanyak-banyaknya di sekelilingnya, selagi tempat mengizinkan. Struktur luar dari bagian terkecil dalam pada itu menentukan, berapa besar sudutnya dan dalam urutan keberapa penggabungan itu terjadi. Di sini dapat dijumpai keadaan yang sangat rumit. Bahan air yang "sederhana" itu misalnya, yang dalam keadaan sesungguhnya sangat rumit susunannya, mempunyai banyak sekali kemungkinan untuk mengkristal menjadi satu, sehingga akhirnya terjadi ratusan bentuk kristal. Namun jika kita amati kristal salju yang teratur itu, maka kita akan temukan, bahwa akan timbul simetri yang sangat pasti, dan bahwa kadang-kadang sangat mudah untuk memutarkan kristal itu sebanyak misalnya 60°, tanpa dapat terlihat suatu perubahan (asalkan sinar kristalnya sama dan tidak cacat).

Berdasarkan sifat simetris itu kristal itu dapat dibagi menjadi 32 kelas kristal, yang pada gilirannya membentuk 230 golongan

ruang yang berbeda-beda. Untuk suatu golongan ruang harus bekerja unsur simetri tertentu (pusat simetri, bidang cermin, as putar, as cermin berputar, as bersekrup). Sistem kristal terpenting adalah sistem dadu (kubus), heksagonal (segi enam), tetragonal (segi empat), rhombus, monoklin, trigonal dan triklin. Dalam setiap sistem kristal masih dapat dibedakan banyak bentuk kristal. Beberapa zat seperti air dapat ditemukan dalam ratusan bentuk kristal yang berbeda-beda, yang antara sesamanya dapat membentuk ribuan kombinasi. Kalkspat (kalsit, $CaCO_3$) misalnya mempunyai sifat yang demikian. Kristal kecil sebesar mata lalat (0,1 mm panjang rusuknya) bagaimanapun juga sudah mengandung kira-kira 10^{19} atom, ion atau molekul dan rusuk (jari-jari kristal yang sedemikian kecilnya itu terbentuk dari 400.000 atom, ion atau molekul) yang kesemuanya dapat dihimpun dalam suatu garis lurus yang tepat. Yang lebih menarik lagi bagi teknik sudah barang tentu adalah kristal dengan tempat kosong (lihat setengah penghantar).

Sebagian besar dari semua zat padat terbentuk dari kristal yang kecil sekali, hampir semua batu-batuan terjadi dari kristal. Di samping kristal yang amat kecil ini terdapat juga kristal raksasa yang besarnya berkubik-kubik meter, misalnya dari garam dapur.

Agar dapat menggolongkan suatu kristal tertentu ke dalam sistem kristalnya, kita harus membayangkan tiga poros yang melalui suatu titik potong di bagian dalam suatu kristal dan memeriksa, berapa besar sudut yang dibuat oleh poros-poros yang berpotongan itu dan bagaimana perbandingan panjangnya. Suatu kristal misalnya, yang dapat dilalui oleh tiga poros yang sama panjangnya, dapat dipertukarkan dan yang saling berpotongan dengan masing-masing membuat sudut 90°, tergolong salah satu dari lima kelas kristal dari sistem kubus. Terkumpulnya materi menjadi kristal dapat disebabkan oleh ikatan ion (misalnya garam dapur), ikatan kovalent (misalnya intan), ikatan logam (misalnya tembaga), tenaga *van der Waals* (misalnya naftalin) dan ikatan jembatan pada zat air. Tenaga dari ikatan itu menentukan kerasnya dan perilakunya dalam peleburan kristal tersebut.

DASAR-DASAR KIMIA

31. Sistem Periodik dari Unsur Kimia I

Sistem periodik dari unsur kimia (SPU) menggambarkan suatu susunan yang sistematis dari 105 unsur kimia yang hingga kini dikenal dalam suatu tabel, yang didasarkan pada keteraturan susunan atom dari unsur dan sifat kimia dan fisik yang tergantung padanya. SPU yang pertama-tama dapat digunakan disusun dalam tahun 1869 oleh *D. J. Mendelejew* dan *L. Meyer* tanpa adanya hubungan antara yang satu dengan yang lainnya.

Penyusunan unsur ke dalam SPU di satu pihak dilakukan menurut nomor urut naik (jumlah proton dalam inti atom dalam atom suatu elemen) dan di pihak lain menurut susunan elektron yang ditentukan oleh jumlah proton di dalam selubung atom atau elektron yang mengelompok di sekeliling inti atom dalam kulit tertentu dan menentukan sifat kimia dan fisik dari suatu unsur. SPU terbagi menjadi periode (baris) dan golongan (kolom). Di dalam golongan terhimpun (ditentukan oleh susunan elektron yang serupa) unsur dengan sifat kimia yang sama. Berat atomnya di sini bertambah dalam setiap golongan dari atas ke bawah. Kita bedakan antara *golongan utama* (a) dan *golongan tambahan* (b), yang terutama golongan utama itu mempunyai nama khusus menurut yang mewakilinya dengan ciri yang khas. Dalam golongan utama yang pertama tertera logam alkali dengan unsur lithium, natrium, kalium, rubidium, casium dan fransium, dalam golongan utama kedua unsur logam alkali tanah (berrylium, magnesium, kalsium, strontium, barium, radium); golongan utama ketiga disebut golongan borium, yang keempat dinamakan golongan zat arang, yang kelima golongan zat lemas; unsur golongan utama keenam kalkogen, golongan utama ketujuh meliputi berbagai-bagai halogen; yang kedelapan bermacam-macam gas mulia.

Susunan kulit elektron: Atom yang susunannya paling sederhana, atom zat air, dalam keadaan netral dari pengaruh listrik terdiri

Sistem Periodik dari Unsur Kimia

(dicantumkan: nomor urut, lambang unsur, nama, berat atom demikian pula dalam cetak miring banyaknya elektron dalam kulit yang sedang disusun pada suatu ketika; unsur-unsur dari golongan/kelompok tambahan ke-1 dan ke-2 di-arsir merah).

Periode	Kulit yang dibentuk	Gol. I a	Gol. I b	Gol. II a	Gol. II b	Gol. III a	Gol. III b	Gol. IV a	Gol. IV b	Gol. V a	Gol. V b	Gol. VI a	Gol. VI b	Gol. VII a	Gol. VII b	Golongan VIII (Gol. VIII b)			Gol. 0 (Gol. VIII a)
1	1. (K)	1 H Zat air 1,008 *1*																	2 He Helium 4,003 *2*
2	2. (L)	3 Li Lithium 6.940 *1*		4 Be Beryllium 9,013 *2*		*3*	5 B Bor 10,82	zat arang *4*	6 C 12.011	zat lemas *5*	7 N 14,006	zat asam *6*	8 O 16,000	*7*	9 F Fluor 19,00				10 Ne Neon 20,183 *8*
3	3. (M)	11 Na Natrium 22,990 *1*		12 Mg Magnesium 24,32 *2*		Aluminium *3*	13 Al 26,982	*4*	14 Si Silicium 28,09	*5*	15 P Fosfor 30,975	*6*	16 S Belerang 32,066	*7*	17 Cl Khlor 35,457				18 Ar Argon 39,944 *8*
4	3. (M) 4. (N)	19 K Kalium 39,100 *1*		20 Ca Calcium 40,08 *2*		21 Sc Scandium *1* 44,96 *2*		22 Ti Titan *2* 47,90 *2*		23 V Vanadin *3* 50,95 *2*		24 Cr Krom *5* 52,01 *1*		25 Mn Mangan *5* 54,94 *2*		26 Fe Besi *6* 55,85 *2*	27 Co Kobalt *7* 58,94 *2*	28 Ni Nickel *8* 58,71 *2*	
4	3. (M) 4. (N)		29 Cu *10* Tembaga *1* 63,540		30 Zn *10* Seng *2* 65,38	*10* *3*	31 Ga Gallium 69,72	*10* *4*	32 Ge Germanium 72,60	*10* *5*	33 As Arsen 74,91	*10* *6*	34 Se Selen 78,96	*10* *7*	35 Br Brom 79,916				36 Kr Krypton *10* 83,80 *8*
5	4. (N) 5. (O)	37 Rb Rubidium 85,48 *1*		38 Sr Stronfium 87,63 *2*		39 Y Yttrium *1* 88,92 *2*		40 Zr Zirkonium *2* 91,22 *2*		41 Nb Niob *4* 92,91 *1*		42 Mo Molybdan *5* 95,95 *1*		43 Tc Technetium *6* (99) *1*		44 Ru Ruthenium *7* 101,1 *1*	45 Rh Rhodium *8* 102,91 *1*	46 Pd Palladium *10* 106,4	
5	4. (N) 5. (O)		47 Ag *1* Perak *1* 107,880		48 Cd *10* Cadmium *2* 112,41	*10* *3*	49 In Indium 114,82	*10* *4*	60 Sn Timah putih 118,70	*10* *5*	51 Sb Antimon 121,76	*10* *6*	52 Te Tellur 127,61	*10* *7*	53 J Yodium 126,91				54 Xe Xenon *10* 131,30 *8*
6	5. (O) 6. (P)	55 Cs Casium 132,91 *1*		56 Ba Barium 137,36 *2*		57 La *) Lanthan *1* 138,92 *2*		72 Hf Hafnium *2* 178,50 *2*		73 Ta Tantal *3* 180,95 *2*		74 W Wolfram *4* 183,86 *2*		75 Re Rhenium *5* 186,22 *2*		76 Os Osmium *6* 190,2 *2*	77 Ir Iridium *7* 192,2 *2*	78 Pt Platina *9* 195,09 *1*	
6	5. (O) 6. (P)		79 Au *10* Emas *1* 197,00		80 Hg *10* Air raksa *2* 200,61	81 Tl *10* *3*	Thallium 204,39	*10* *4*	82 Ph Timah Hitam 207,21	*10* *5*	83 Bi Wismut 209,00	*10* *6*	84 Po Polonium (210)	*10* *7*	85 Ar Astat (210)				86 Rn Radon *10* (222) *8*
7	6. (P) 7. (Q)	87 Fr Francium [223] *1*		88 Ra Radium [226,05] *2*		89 Ac **) Actinium *1* [227] *2*		104 Kurtschatovium		105									

*) Lanthanoida (golongan tambahan jenis kedua)

O P N	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
	Cer *2* *2* 140,13	Praseodym *2* *3* 140,92	Neodym *2* *4* 144,27	Promethium *2* *5* (147)	Samarium *2* *6* 150,35	Europium *2* *7* 152,0	Gadolinium *1* *2* *7* 157,26	Terbium *2* *9* 158,93	Dysprosium *2* *10* 162,51	Holmium *2* *11* 164,94	Erbium *2* *12* 167,27	Thulium *2* *13* 168,94	Ytterbium *2* *14* 173,04	Lutetium *1* *2* *14* 174,99

**) Aktinoida (golongan tambahan jenis kedua)

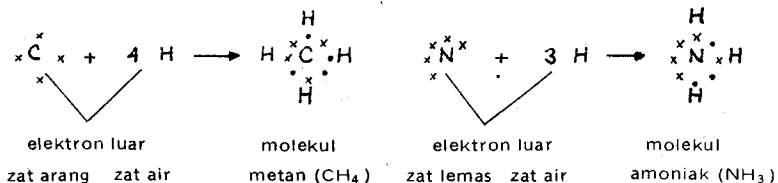
P Q O	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
	Thorium *2* *2* 232,05	Protactinium *1* *2* [231] *2*	Uran *1* *2* 238,07 *3*	Neptunium *1* *2* [237] *4*	Plutonium *1* *2* [242] *5*	Americium *1* *2* [243] *7*	Curium *1* *2* [247] *7*	Berkelium *1* *2* [247] *8*	Californium *1* *2* [249] *9*	Einsteinium *1* *2* [253] *10*	Fermium *1* *2* [253] *11*	Mendelevium *1* *2* [256] *12*	Nobelium *1* *2* [254] *13*	Lawrencium *1* *2* [257] *14*

atas satu proton, dan diedari oleh satu elektron. Elektron ini dalam keadaan semula berada dalam kulit pertama, (juga dinamakan kulit-K). Atom helium sebagai unsur berikutnya dengan dua proton dalam inti atomnya mempunyai dua elektron, yang juga berada dalam kulit-K. Dengan kedua elektron ini kulit-K itu sudah terisi (penuh) dan periode pertama itu sudah ditutup. Pada lithium (dengan nomor urut 3) dimulai susunan kulit kedua (kulit-L), yang dengan melangkah dari lithium hingga neon masing-masing dibubuhkan satu elektron lebih banyak dalam kulit-L. Pada neon kulit-L itu berisi 8 elektron dan sudah terisi penuh. Setiap kulit dapat menerima sebanyak-banyaknya $2n^2$ elektron (n = kulit), sehingga kulit pertama sesudah menerima 2 elektron, yang kedua sesudah 8 elektron, yang ketiga 18 elektron, dan keempat 32 elektron, telah mencapai daya tampung maksimalnya. Pada kulit ke-5, 6 dan 7 daya menampung elektron yang dapat dicapai tidak lagi digunakan sepenuhnya. Setelah tersusunnya kulit kedua pada gas mulia neon, dengan logam alkali natrium (nomor urut 11) dimulai penyusunan kulit ketiga (kulit-M), yang berakhir sementara pada gas murni argon dengan delapan elektron. Logam alkali kalium (nomor urut 19) yang menyusul argon, memulai tersusun kulit keempat (kulit-N), namun penyusunan ini terputus sesudah unsur kalsium. Oleh kesepuluh unsur dari golongan tambahan berikutnya (skandium hingga seng) pada susunan elektron yang menurut teori tetap sama, namun menurut kenyataan karena berubah-ubahnya susunan elektron dari kulit paling luar, kulit yang ketiga dilengkapi dengan 18 elektron. Baru dengan unsur golongan utama sesudah seng yaitu galium hingga krypton kulit keempat diisi dengan 8 elektron. Dengan demikian periode keempat mencakup seluruhnya 18 unsur (8 unsur dari golongan utama dan 10 unsur dari golongan tambahan). Proses yang sama seperti dalam periode keempat juga terjadi dalam periode kelima pada penyusunan kulit kelima (kulit-0). Juga di sini sesudah kedua unsur pemula (rubidium dan strontium) disisipkan suatu deretan sebanyak 10 unsur dari golongan tambahan (Iytrium hingga kadmium) yang mengisi kulit keempat dengan 18 elektron (dari 32 yang dapat diisikan).

Sistem Periodik dari Unsur Kimia (II)

Juga periode ke-5 mencakup 18 unsur. Dalam periode ke-6 pertama dengan unsur Casium dan barium dimulai penyusunan kulit ke-6 (kulit-P), unsur berikutnya lanthan mulai menyelesaikan kulit ke-5. Keempat belas unsur sesudah lanthan (cer hingga lutetium), yang disebut *lanthanoida*, dalam pada itu baru menyelesaikan penyusunan kulit ke-4 hingga daya tampung maksimalnya sebanyak 32 elektron. Pada unsur hafnium (nomor urut 72) penyusunan kulit ke-5 berlangsung terus, yang pada air raksa (nomor urut 80) mencapai penyelesaian sementara. Unsur dari golongan utama thalium hingga radon menyelesaikan kulit ke-6 pada 8 elektron. Dengan demikian periode ke-6 mencakup 32 unsur (8 unsur golongan utama, 10 unsur golongan tambahan dan 14 lanthanoida). Proses pembentukan kulit elektron dari periode ke-7 (kulit ke-7 = kulit-Q) serupa dengan yang ke-6; di sini keempat belas unsur sesudah actinium (nomor urut 89) yang menyebabkan terselesaikannya kulit ke-5 dengan 32 elektron, disebut *actinoid*. Dari unsur sesudah lawrencium seharusnya pembentukan kulit ke-7 itu diselesaikan dengan 8 elektron, namun tentang susunan elektron pada unsur kurtschatovium, demikian pula pada unsur ke-105 belum ada yang diketahui dengan pasti. Unsur dari golongan utama berikutnya diduga akan jatuh pada unsur dengan nomor urut 113.

Susunan kulit elektron yang selalu berulang dalam urutan yang teratur juga ikut menentukan keteraturan fisik dan kimia dalam sistem periodik. Dasar dari semua reaksi kimia dari atom unsur adalah upaya untuk mencapai kulit kedelapan yang kaya energi dengan membentuk persenyawaan seperti yang terdapat pada gas mulia dan yang memberi dasar kepada kelembaman reaksi kimia. Untuk mendapatkan kulit kedelapan ini atom itu dapat menampung elektron ke dalam kulitnya atau menyerahkannya atau memilikinya bersama dengan atom lainnya.

Contoh dari persenyawaan yang terbentuk dari ion, terjadi karena pelepasan elektron atau penerimaan dari atom yang turut serta dalam reaksi.

Contoh dari persenyawaan yang terbentuk dari atom, terjadi karena permanfaatan bersama elektron luar dari atom yang turut serta dalam reaksi.

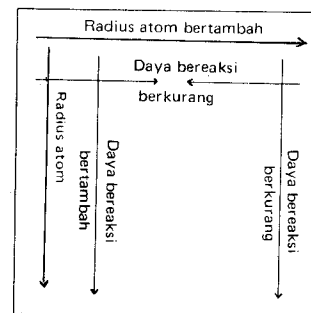
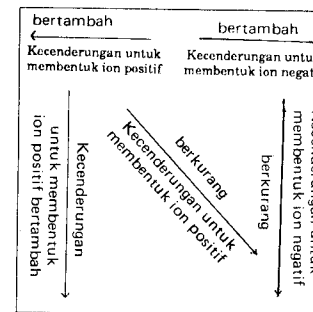
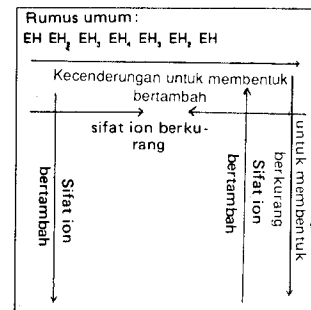
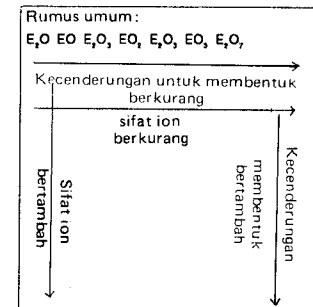
Unsur dari golongan utama 1, 2 dan 3 dari sistem periodik masing-masing memiliki satu, dua atau tiga elektron dalam kulit luarnya. Dengan menyerahkan elektron ini dan membentuk ion positif yang bervalensi satu hingga tiga, elektron tersebut berkemampuan untuk mencapai kulit gas mulia yang terdahulu. Atom dari natrium dengan menyerahkan elektron luar satu-satunya itu mencapai misalnya kulit gas mulia neon (dengan pembentukan ion natrium positif), atom kalsium dengan penyerahan kedua elektron luarnya, mencapai kulit gas mulia argon dengan membentuk ion kalsium positif bervalensi dua. Atom dari unsur golongan utama ke-6 dan ke-7 dengan menerima elektron dari atom lain dapat mencapai kulit-gas-mulia dari gas mulia berikutnya dengan membentuk ion bermuatan negatif yang bervalensi 1 hingga 2. Atom dari klor misalnya dengan menerima satu elektron berpindah ke kulit gas mulia argon (dengan membentuk ion klor negatif bervalensi satu); atom selenium dengan menerima dua elektron mencapai kulit gas mulia krypton (dengan pembentukan ion selenium bermuatan negatif yang bervalensi 2). Pada unsur dari golongan utama ke-4 dan ke-5 tidak terbentuk ion-ion; unsur ini mencapai kulit gas mulia mereka dengan menggunakan bersama elektron unsur lain.

Sistem Periodik dari Unsur Kimia (III)

Daya bereaksi unsur dari suatu golongan bertambah dari atas ke bawah, karena dengan bertambahnya jumlah kulit elektron dan bertambah panjangnya jari-jari atom daya tarik inti atom senantiasa menjadi semakin lemah. Unsur yang paling besar daya reaksinya berada dalam golongan utama ke-1 dari sistem periodik (logam alkali), karena di sini hanya ada satu elektron luar yang relatif longgar. Dalam suatu periode daya reaksi itu terutama berkurang hingga kira-kira golongan ke-4, namun kemudian naik lagi dari golongan ke-5 hingga ke-7. Jari-jari atom berkurang dalam suatu periode, karena bertambahnya jumlah elektron luar dan meningkatnya muatan inti disebabkan daya tarik yang berlawanan mengakibatkan mengecilnya atom. Dikaitkan dengan kecenderungan yang makin berkurang dari unsur dalam suatu periode untuk membentuk ion positif, terdapat pula suatu peralihan yang teratur dari logam ke bukan logam. Dalam setiap periode pada permulaan tercantum suatu logam, dalam kelompok agak di tengah terdapat yang disebut setengah logam, yang dapat berperilaku sebagai logam atau bukan logam tergantung dari persyaratan reaksinya, pada akhir setiap periode terdapat bukan logam. Dalam kelompok itu sifat ke logam dari unsur itu bertambah dari atas ke bawah, karena dengan bertambah panjangnya radius atom daya tarik pada elektron luar itu berkurang dan kecenderungan untuk menyerahkan elektron bertambah.

Oleh jumlah elektron luar pula ditentukan valensi unsur. Terhadap zat air valensi itu bertambah dari golongan utama ke-1 hingga ke-4, kemudian berkurang lagi dari golongan utama ke-5 hingga ke-7 (urutan dalam periode ke-2 LiH, BeH_2, BH_3, CH_4, NH_3, OH_2, FH). Valensi terhadap zat asam bertambah dalam suatu periode (misalnya periode ke-3. Na_2O, M_gO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, SiO_3, Cl_2O_7).

	Gol. I	Gol. II	Gol. III	Gol. IV	Gol. V	Gol. VI	Gol. VII	Gol. VIII
Periode 1	zat air							Helium He
Periode 2	Lithium Li	Beryllium Be	Bor B	zat arang	zat lemas	zat asam	Fluor F	Neon Ne
Periode 3	Natrium Na	Magnesium Mg	Aluminium Al	Silicium Si	Fosfor	Belerang	Klor	Argon Ar
Periode 4	Kalium K	Calcium Ca	Gallium Ga	Germanium Ge	Arsen As	Selen Se	Brom Br	Kripton Kr
Periode 5	Rubidium Rb	Strontium Sr	Indium In	Timah putih	Antimon Sb	Tellur Te	Yodi-um	Xenon Xe
Periode 6	Cäsium Cs	Barium Ba	Thallium Tl	Timah hitam	Wismut Bi	Polonium Po	Astat At	Radon Rn
Periode 7	Francium Fr	Radium Ra						

Pembagian logam (diarsir merah), setengah-logam (diarsir hitam) dan bukan-logam (putih) dalam golongan utama sistem periodik.

Keteraturan dari radius atom dan daya bereaksi dalam golongan utama dari sistem periodik (tanpa gas mulia)

Kecenderungan untuk membentuk ion positif atau negatif dalam sistem periodik (tanpa gas mulia)

Sistematik dari persenyawaan zat air (tanpa gas mulia)

Sistematik dari persenyawaan zat asam (tanpa gas mulia)

Kecenderungan untuk membentuk persenyawaan zat air bertambah dalam suatu periode (disebabkan oleh kecenderungan zat air untuk menyerahkan elektron dan kecenderungan unsur dari golongan utama ke-5 hingga ke-7 untuk menampung elektron), kecenderungan untuk membentuk persenyawaan zat asam berkurang dalam suatu periode (disebabkan oleh kecenderungan zat asam untuk menampung elektron). Dalam suatu golongan sebaliknya kecenderungan untuk membentuk persenyawaan zat air berkurang, kecenderungan untuk membentuk zat asam bertambah. Makin jauh jarak antara suatu unsur dengan yang lainnya dalam sistem periodik dari unsur (SPU), makin besar kecenderungannya untuk membentuk persenyawaan dengan sifat ion (dengan menampung elektron dari unsur yang satu dan melepaskan elektron dari unsur yang lain), oleh karenanya persenyawaan unsur dari golongan utama ke-1 dan ke-2 dengan unsur dari golongan utama ke-6 dan ke-7 dari SPU kebanyakan mempunyai sifat ion.

Karena pada unsur dari golongan tambahan bukan kulit elektron yang paling luar letaknya melainkan (pada kulit luar yang tetap sama) kulit yang terletak lebih jauh di dalam yang terisi, unsur ini memperlihatkan antara sesamanya banyak persesuaian dalam segi fisika dan kimia (hanya logam, kecenderungan untuk membentuk ion positif). Persamaan ini terutama berlaku bagi lanthanoida dan actinoida, karena pada unsur tersebut hanya kulit ketiga paling luar yang terisi.

32. Rumus Kimia dan Persamaan Reaksi

Untuk dapat mengungkapkan susunan kimia dari molekul dan proses reaksi kimia secara singkat dan tidak menimbulkan salah pengertian, telah dibuat cara penulisan yang berlaku di seluruh dunia. Setiap unsur kimia dalam hal ini diberi lambang tersendiri (satu atau dua huruf), yang kebanyakan berasal dari nama latin dari unsur itu masing-masing (gambar 1). Untuk menggambarkan persenyawaan kimia lambang unsur yang ikut serta dalam pembentukan persenyawaan itu dirangkaikan menjadi satu tanpa tanda baca (gambar 2). Dengan cara demikian kita memperoleh *rumus bruto* atau *rumus jumlah*, yang hanya memberi keterangan tentang perbandingan jumlah dari unsur yang ikut serta dalam persenyawaan itu, namun tidak menyatakan apa pun tentang sifat dari ikatan kimia di antara atomnya itu masing-masing. Jika suatu molekul terdiri atas sejumlah yang agak besar dari berbagai unsur, maka unsur tersebut kebanyakan membentuk kelompok dengan ikatan kebersamaan yang lebih erat, kelompok ini sering kali mengandung muatan listrik positif atau negatif. Lambang singkatan dari kelompok itu dalam rumus kimia biasanya langsung dituliskan secara berturut-turut dan dalam urutan tertentu. Jika suatu kelompok dalam suatu molekul terdapat berkali-kali kelompok itu tampak dalam kurung bulat, di kanan bawah di belakang kurung dicantumkan dengan angka Arab jumlah kelipatan dari pemunculan kelompok tersebut (gambar 3). Zat yang sejenis menurut ilmu kimia kebanyakan terbentuk menurut jenis rumus yang seragam. Maka rumus umum untuk basa (loog) $Me_m(OH)_n$, dengan Me berarti logam yang merupakan dasar dari basa itu, OH kelompok hidroksida yang menjadi ciri khas bagi basa, yang dalam larutan air berdisosiasi sebagai ion hidroksida yang negatif (OH^-); huruf m dan n menunjukkan seringnya keikutsertaannya. Sering kali dengan tanda lain lagi diberikan keterangan tentang ikatan antara kelompok unsur, mengenai valensinya, dan tentang pembagian muatan positif dan negatif di dalam molekul. Pada molekul yang rumit bentuknya

Gambar 1 : Lambang singkatan dari beberapa unsur :

Zat air (Hydrogenium)	=	H
Zat arang (Carboneum)	=	C
Zat asam (Oxygenium)	=	O
Zat lemas (Nitrogenium)	=	N
Natrium (Natrium)	=	Na

Gambar 2 : Penulisan rumus-rumus kimia :

1 atom H + 1 atom Cl = HCl (asam klorat)

2 atom H + 1 atom O = H_2O (air)

1 atom C + 2 atom O = CO_2 (arang dioksida)

Gambar 3 :

persenyawaan	Golongan	betul	salah
Garam pahit	Mg^{++} + SO_4^{--}	$Mg\,SO_4$	~~$SMgO_4$~~, ~~O_4MgS~~
Soda	$2Na^+$ + CO_3^{--}	$Na_2\,CO_3$	~~CNa_2O_3~~, ~~O_3Na_2C~~
Amonium sendawa	NH_4^+ + NO_3^{--}	$NH_4\,NO_3$	~~$N\,NH_4O_3$~~, ~~$O_3N_2H_4$~~
Amoniumkarbonat	$2NH_4^+$ + CO_3^{--}	$(NH_4)_2CO_3$	~~$C\,(NH_4)_2O_3$~~, ~~$O(NH_4)_2C$~~

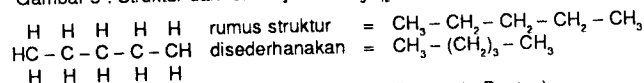
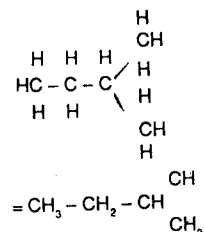
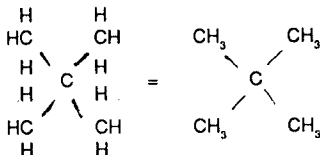
Gambar 4 :

Contoh untuk suatu rumus yang rumit:
$[Na_2Fe_3^{II}Fe_2^{III}(OH)_2]^{6+}[Si_8O_{22}]^{6-}$ sejenis mineral amfobol atau Fiebeckit, terdiri atas suatu kompleks bermuatan positif dengan besi bervalensi dua dan tiga dan suatu kompleks bermuatan negatif.

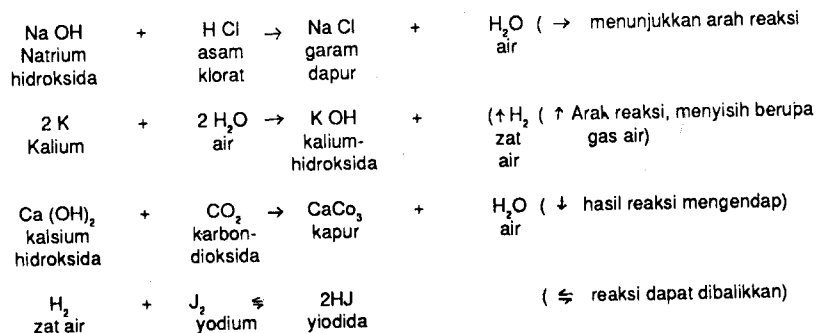
Gambar 5 : Struktur dari rumus jumlah C_5H_{12} yang dapat terjadi:

```
 H   H   H   H   H    rumus struktur   = CH3 - CH2 - CH2 - CH2 - CH3
HC - C - C - C - CH   disederhanakan   = CH3 - (CH2)3 - CH3
 H   H   H   H   H
```

Pentan (n-Pentan)

```
            H                    H         H
            CH                   HC        CH          CH3       CH3
 H  H  H                         H  \   /  H               \   /
HC - C - C/ H                         C          =           C
 H  H      \ H                   H  /   \  H               /   \
            CH                   HC        CH          CH3       CH3
            H                    H         H
               CH
= CH3 - CH2 - CH
               CH3
```

2-Metil-butan

2,2 - Dimetil-propan

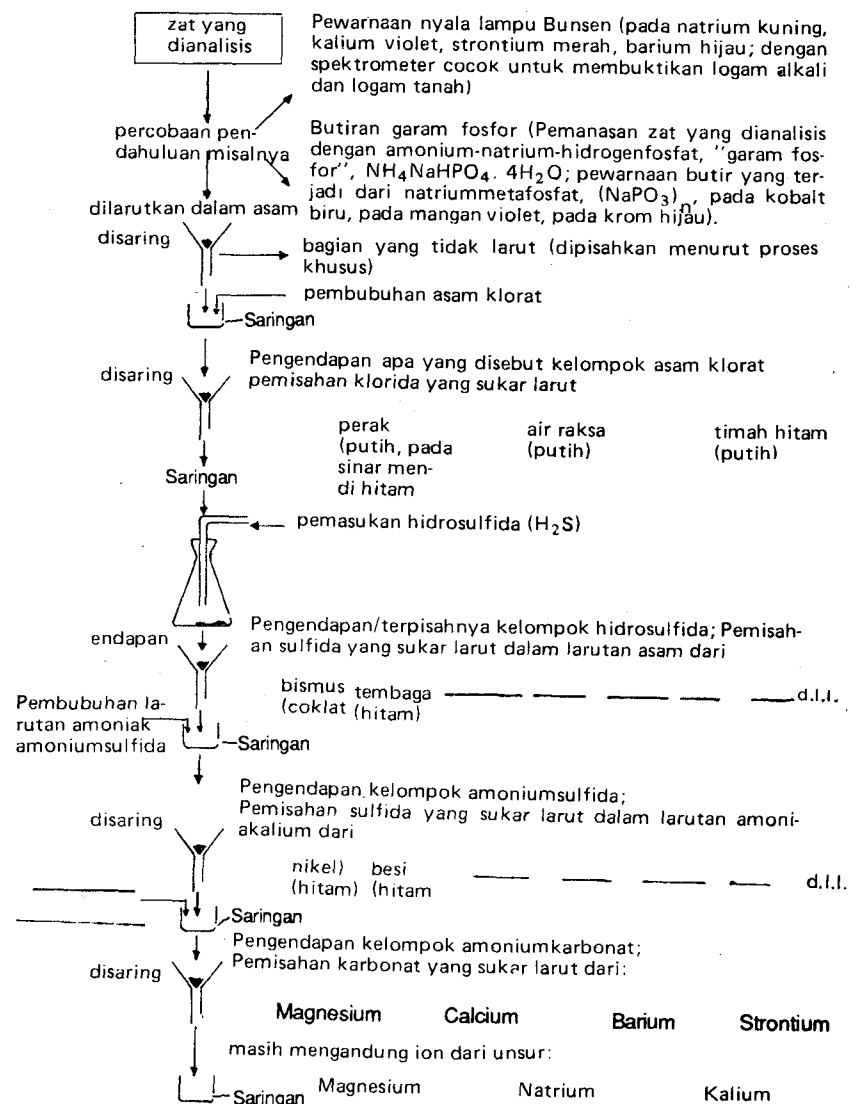
Gambar 6 : Cara menuliskan persamaan reaksi kimia :

Na OH Natrium hidroksida	+	H Cl asam klorat	→	Na Cl garam dapur	+	H_2O air	(→ menunjukkan arah reaksi
2 K Kalium	+	2 H_2O air	→	K OH kalium- hidroksida	+	(↑H_2 zat air	(↑ Arah reaksi, menyisih berupa gas air)
Ca $(OH)_2$ kalsium hidroksida	+	CO_2 karbon- dioksida	→	$CaCo_3$ kapur	+	H_2O air	(↓ hasil reaksi mengendap)
H_2 zat air	+	J_2 yodium	⇆	2HJ yiodida			(⇆ reaksi dapat dibalikkan)

demi mendapatkan ikhtisar yang lebih mudah, maka kelompok yang stabil dikumpulkan dalam tanda kurung segi empat; jumlah dari kelompok ini dapat juga dicantumkan dengan angka Arab di bawah. Valensi dari atom atau molekul ditandai dengan angka Arab atau Romawi di bagian atas kanan. Juga untuk urutan deretan unsur atau kelompok di dalam suatu molekul ada peraturan tertentu. Maka atom atau kelompok yang bermuatan positif misalnya biasanya dicantumkan di muka (gambar 4).

Dalam ilmu kimia dibedakan dua golongan besar persenyawaan: golongan kimia anorganis (misalnya: garam, mineral) dan golongan kimia organis (misalnya: lemak, putih telur, hidrat arang). Persenyawaan kimia anorganis pada hakikatnya lebih sederhana susunannya daripada persenyawaan kimia organis. Demikian pula jumlah persenyawaan dari kimia anorganis sebanyak kira-kira 60.000 jauh lebih kecil daripada jumlah persenyawaan kimia organis (lebih dari empat juta). Semua persenyawaan organis berlandaskan suatu kerangka atom zat arang, yang kepadanya tergabung unsur atau kelompok unsur tertentu. Lagi pula adalah menentukan, bagaimana setiap unsur pembangun digabungkan menjadi satu, apakah misalnya perancah/kerangka zat arang berbentuk rantai (asiklis) atau lingkaran (siklis), dan pada tempat mana dari molekul dikaitkan ranting selanjutnya. Dua molekul dengan rumus bruto yang sama dapat dijumpai dalam struktur yang berbeda sama sekali, gejala semacam ini disebut isomer dari suatu rumus bruto. Sementara dalam kimia anorganis, untuk menggambarkan suatu molekul cukup dengan menyatakan rumus brutonya, dalam kimia organis dalam pada itu terutama dinyatakan rumus strukturnya (rumus konstitusi), yaitu suatu rumus, yang secara simbolis memberikan penjelasan tentang cara mengikatkan atom dan kelompok tersebut. Rumus struktur ini sedikit banyaknya dapat digambarkan lebih sederhana menurut kebutuhan. Gambar 5 memperlihatkan kemungkinan berdasarkan isomeri rumus bruto C_5H_{12} yang relatif sederhana.

33. Analisis Kimia I

Analisis kimia menyibukkan diri pada pemisahan campuran zat menjadi masing-masing komponennya dan usaha mengidentifikasi yang berkaitan dengan hal tersebut,. juga dengan menentukan atom atau kelompok atom yang membentuk suatu persenyawaan dan susunan strukturnya. Untuk penelitian tersebut tersedia banyak metode kimiawi, kimiawi-fisik dan fisik. Penentuan yang mana dari metode itu paling cocok untuk tujuan tertentu pada suatu ketika, tergantung pada jenis zat yang akan dianalisis, dari pertanyaan, bagian yang mana yang akan ditentukan dan dari kecermatan dalam melakukan analisis tersebut. Metode pembuktian secara murni kimiawi cara kerjanya relatif kasar, artinya jumlah suatu zat masih dapat dikenal secara sempurna, adalah relatif tinggi (10^{-2} hingga 10^{-3} g); pada beberapa metode pembuktian yang murni fisik masih ada kemungkinan untuk memperoleh jumlah zat dalam konsentrasi dari 10^{-11} hingga 10^{-13}. Pada umumnya dapat dibedakan dua bagian dari bidang besar analisis kimia, pertama *analisis kualitatif*, yang hanya ditentukan oleh jenis zat yang membentuk suatu persenyawaan atau bagian dari suatu campuran zat, dan yang lainnya: *analisis kuantitatif*, yang ditentukan oleh banyaknya bagian yang membentuk persenyawaan atau banyaknya bagian yang terkandung dalam suatu campuran zat.

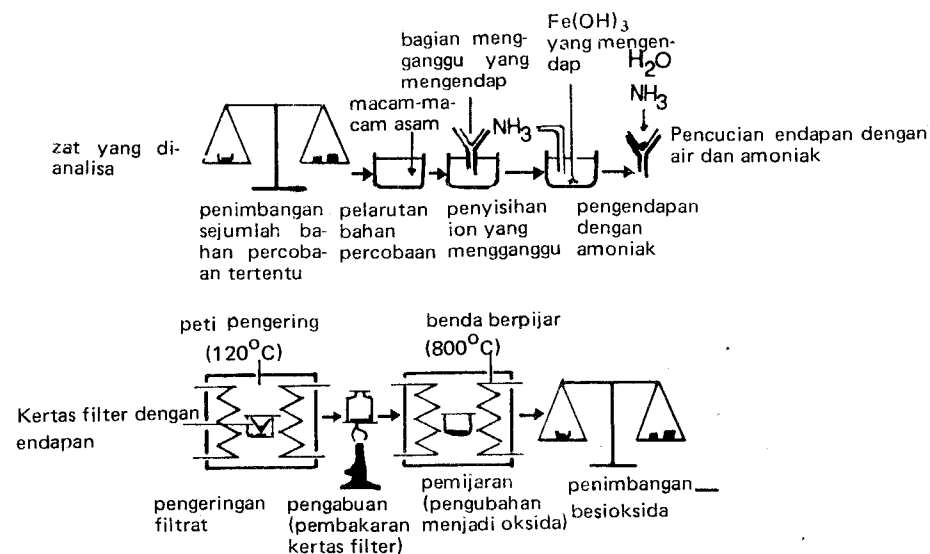
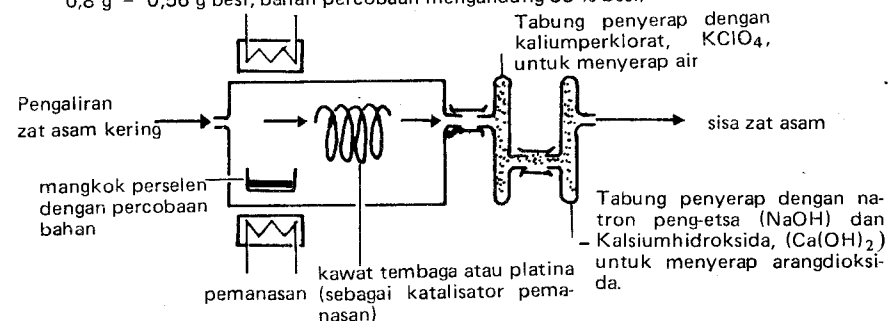
Pada *analisis kualitatif* dari *persenyawaan anorganis* persoalannya adalah, untuk menentukan *ada* atau *tidak adanya* unsur dalam zat yang dianalisis pada suatu ketika (dalam bentuk kation dan anion yang ada) melalui reaksi pembuktian yang karakteristik bagi setiap unsur. Karena banyak unsur yang mengganggu dalam usaha membuktikan unsur lain secara sempurna, menurut analisis "klasik" (kimia basah) yang sekarang masih digunakan pada penyelidikan mineral yang sederhana, dilakukan *proses pemisahan*, yaitu pada kelompok tertentu dari unsur yang serupa bereaksinya dipisahkan dengan reagens yang cocok dari bahan yang dianalisis. Kelompok ini kemudian diuraikan lebih lanjut, hingga dengan suatu

Gambar : Ikhtisar tentang proses pemisahan kation pada analisis kimia kualitatif dari zat-zat anorganis (unsur yang tidak tercantum diendapkan bersama dengan unsur hidrosulfida atau dengan amoniumsulfida)

reaksi khusus dapat dilakukan pembuktian yang sempurna tentang ada atau tidak adanya suatu unsur. Untuk sejauh mungkin menyederhanakan proses pemisahan itu, sebelum dimulai terutama dilakukan *percobaan pendahuluan* yang sudah memberikan petunjuk mengenai susunan bahan yang akan dianalisis. Untuk melakukan proses pemisahan itu zat yang akan dianalisis pertama-tama harus dilarutkan dengan asam. Bagian yang tidak dapat larut dipisahkan dengan filter dan dilarutkan dengan cara yang khusus. Pada proses pemisahan dari kationnya (gambar 1) setiap kelompok unsur masing-masing, dikarenakan terbentuknya endapan yang sukar larutnya, dipisahkan dari larutan yang dianalisis dengan reagens tertentu, kemudian bagian dari setiap kelompok itu diketahui identitasnya dengan diendapkan lagi atau melalui reaksi warna. Karena pembuktian anion terganggu oleh kehadirannya hampir semua ion logam berat, anion itu harus dibuktikan secara terpisah. Untuk maksud tersebut dibuat yang disebut *saripati* (ekstrak) *soda* dengan cara mendidihkan bahan yang dianalisis dengan larutan soda, sehingga semua logam berat dikeluarkan dalam bentuk karbonat dan hidroksida dari logam yang bersangkutan; dalam filtrat itu kemudian anionnya masing-masing dibuktikan dengan reaksi khusus.

Analisis kualitatif dari persenyawaan organis, yaitu pembuktian dari unsur yang membentuk persenyawaan organis, dibandingkan dengan analisis kualitatif persenyawaan anorganis, hanya mempunyai arti yang tidak begitu penting, karena persenyawaan organis selalu hanya terdiri atas sedikit unsur, terutama zat arang, zat air, zat lemas dan zat asam dan jarang mengandung unsur lain seperti halogen, belerang atau fosfor. Untuk membuktikan zat arang digunakan oksidasi menjadi dioksidasi arang, yang dibuktikan dengan pengendapan kalsiumkarbonat jika disalurkan melalui larutan kalsiumhidroksida; zat air dioksidasi menjadi air dan zat lemas kebanyakan dialirkan ke dalam amoniak. Halogen ditemukan dengan menerapkan *percobaan Beilstein* (pewarnaan nyala lampu Bunsen jika dibubuhi oksida tembaga).

Analisis Kimia (II)

Untuk *analisis kuantitatif persenyawaan anorganis* tersedia banyak cara bekerja yang cocok. Pada *gravimetri* (gambar 2) misalnya unsur yang harus ditentukan itu dalam bentuk persenyawaan yang seragam susunan kimianya dan sukar dilarutkannya (hidroksid, garam, kompleks), dipisahkan dengan cara menyaringnya dari larutan yang dianalisis dan setelah dikeringkan atau setelah dipijarkan (misalnya untuk mengubah hidroksida menjadi oksida yang stabil) ditentukan dengan melakukan penimbangan dan perhitungan terhadap sejumlah zat yang dimasukkan. Yang disebut analisis pengukuran (analisis titrasi, titrimetri, volumetri) adalah cara kerja untuk menentukan banyaknya zat dengan mengukur pemakaian reagens (bahan reaksi) tertentu yang telah bereaksi dengan zat yang harus ditentukan secara ringkas namun jelas. Untuk penentuan itu dibutuhkan larutan pengukuran, yang mengandung reagens tersebut dalam konsentrasi tertentu, demikian pula tabung yang telah ditera isinya (pipet, buret, gelas ukur), dengan alat mana dapat ditentukan pemakaian larutan reagens. Dari pemakaian larutan pengukur hingga dengan titik akhir reaksi (titik akhir titrasi) dapat ditentukan kadar larutan analisis terhadap zat tertentu. Sebagai reaksi pada analisis pengukuran dapat disebut reaksi pengendapan, hingga pada akhir reaksi dapat diketahui dari tidak terjadinya lagi pengendapan dengan penambahan reagens lebih lanjut, dan juga reaksi penetralan, reduksi, oksidasi dan pembentukan kompleks, hingga pada akhir reaksi ditunjukkan oleh munculnya, menghilangnya atau berubahnya warna. Untuk memberi tanda berakhirnya reaksi sering kali juga dibubuhkan zat pewarna penunjuk (indikator). Sekarang ini berakhirnya titrasi sering kali juga ditentukan oleh metode elektro kimia (potensiometri, konduktometri, amperometri, dan sebagainya).

Analisis kuantitatif persenyawaan organis (analisis elementer) terutama penting untuk penyusunan rumus bruto dari persenyawaan organis. Analisis tersebut berlangsung dalam beberapa langkah

Gambar 2: Cara menentukan kadar besi dalam zat yang dianalisis dengan gravimetri (besi yang larut diendapkan dengan pembubuhan amoniak sebagai besihidroksida, $Fe(OH)_3$, kemudian dipijarkan menjadi besioksida, Fe_2O_3, dan dalam keadaan demikian ditimbang;
Contoh: Berat yang dianalisis 1 g; kehilangan berat berupa besioksida 0,8 g = 0,56 g besi; bahan percobaan mengandung 56 % besi)

Gambar 3 : Analisis kuantitatif dari persenyawaan organik. (penentuan kadar zat arang dan zat air;
contoh: berat yang dianalisis 1 g; banyaknya air 0,72 g = 0,04 g arang-dioksida 2,72 g = 0,75 g zat arang;
bahan percobaan itu mengandung 4 % zat air dan 75 % zat arang.

tersendiri: Kadar zat arang dan zat air ditentukan dengan pembakaran menjadi dioksida arang atau air, dan banyaknya bagian yang ikut serta dalam kedua persenyawaan itu diukur dengan bertambah beratnya bahan serap (absorpsi) yang cocok dan berada dalam tabung yang dapat ditutup (gambar 3). Zat lemas ditentukan dalam keadaan berbentuk gas secara volumetris dengan menampungnya dalam yang disebut *azotometer*, waktu sebelumnya semua hasil pembakaran lainnya harus ditampung dengan cairan penyerap. Kadar halogen diperoleh dengan pembentukan halogenida perak yang sukar larutnya. Belerang dan phosfor ditentukan setelah dioksidasi menjadi sulfat dan phosfat. Bagian zat arang dalam suatu persenyawaan hanya jarang ditentukan secara langsung, melainkan diketahui dari bagian sisa pada waktu ditambahkannya bagian persenyawaan lainnya dan pengurangan banyaknya zat yang dimasukkan.

Untuk pembuktian kualitatif dan untuk penentuan kuantitatif dari persenyawaan baik anorganis maupun organis dewasa ini yang mempunyai arti adalah metode analisis yang memungkinkan dapat ditentukannya secara langsung bagian persenyawaan kimia atau susunan dari campuran zat, yaitu tanpa dilibatkannya proses pemisahan yang memakan waktu dan mengandung kesalahan. Yang telah menjadi luar biasa pentingnya bagi pemisahan dan penjelasan tentang susunan persenyawaan organis adalah terutama metode kromatografi atau spektroskopi.

Analisis Kimia (III)

Proses elektro kimia berdasarkan peristiwa kimia dan fisika dalam larutan dan pada bidang batas elektroda dari sebuah sel elektrolisis. Kebanyakan arus yang dapat diukur dan tegangan elektro kimia yang timbul digunakan untuk mengenal titik akhir dari ion titrat, karena dalam suatu elektrolit potensial elektrodenya dan daya hantar khususnya (spesifik) sedikit banyak sangat tergantung pada kepekatan semua ionnya. Salah satu dari proses elektro kimia ini, yang terutama penting pada penentuan secara analisis dari logam, adalah *polarografi,* ketika larutan yang akan dianalisis berada di antara dua elektrode air raksa dan dikenakan tegangan yang terus-menerus meningkat. Segera setelah potensial reduksinya (yaitu tegangan suatu ion, ketika terjadi peralihan ke dalam tingkat valensi yang lebih rendah terdekat) tercapai, kekuatan arusnya naik secara melonjak. Jika dengan menaikkan lagi tegangannya terjadi lagi reduksi dari ion larutan yang sama atau ion lainnya, kekuatan arus itu naik lagi. Jika tegangan pada suatu saat dilukiskan dalam suatu diagram dibandingkan dengan kekuatan arus pada saat itu, maka akan diperoleh suatu kurva yang berbentuk tangga, yang disebut *polarogram* (gambar 4). Dalam pada itu tegangan untuk menguraikan pada suatu saat untuk tiap jenis ion, tingginya, tingkat merupakan ciri khas bagi konsentrasi dari jenis ion yang diperiksa.

Metode optis berdasarkan penggunaan pewarnaan dari endapan atau larutan dengan menggunakan metode optis. Suatu contoh untuk metode ini adalah *kolorimetri* (gambar 5), yang berdasarkan pembandingan intensitas cahaya dari larutan yang sama warnanya. Untuk maksud tersebut dipancarkan sinar yang berasal dari suatu sumber cahaya masing-masing melalui larutan pembanding dengan konsentrasinya yang diketahui dan melalui larutan yang akan dianalisis. Dari intensitas cahaya yang berbeda yang ditentukan dengan menggunakan detektor, konsentrasi dari larutan yang akan diperiksa itu dapat diperhitungkan dengan ion tertentu. Metode

Gambar 4 : Skema dari sebuah polarogram (contoh untuk suatu larutan yang mengandung ion Cu^{2+}; tingkat pertama sesuai dengan reduksi $Cu^{2+} + e \rightarrow Cu^{+}$, yang kedua sesuai dengan reduksi $Cu^{+} + \bar{e} \rightarrow Cu$)

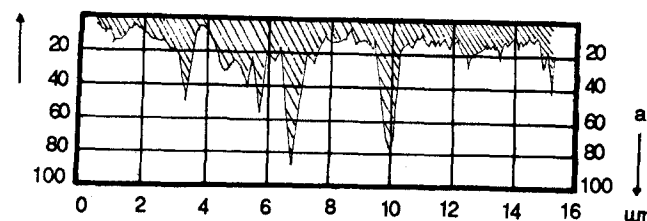
kekuatan arus
h_2 ketinggian tingkat dari jenis ion kedua
h_1 ketinggian tingkat dari jenis ion pertama
tegangan
Permulaan reduksi suatu jenis ion pada tegangan penguraian
Dimulainya reduksi suatu jenis ion baru atau reduksi lanjutan dari jenis ion yang sama

sumber cahaya
diafragma
larutan dengan konsentrasi yang diketahui
lensa
Detektor (penyamaan intensitas sinar)
larutan dengan konsentrasi yang tidak diketahui

Gambar 5: Skema dari kolorimetri

bagian muka alat jalan
zat yang dipisahkan
arah jalan
bintik permulaan
alat jalan
a)
pinggan dengan cairan
alat jalan
bintik permulaan
kertas filter
zat yang dipisahkan
b)
bagian muka alat jalan

Bentuk pelaksanaan dari kromatografi kertas.

Gambar 6: Kromatografi kertas yang naik (a) dan yang turun. Suatu ujung dari kertas filter yang bekerja sebagai fase diam bergantung dalam alat jalan cair; campuran yang harus dipisahkan ditaruh pada bintik permulaan dan dipindahkan oleh alat jalan yang berbeda jauhnya; zat yang dipisahkan dapat diketahui kemudian.

Gambar 7: Spektrum penyerapan inframerah dari Bensol. Tingkat penembusan x dan daya absorpsi ÿ (dalam %) tergantung dari panjangnya gelombang.

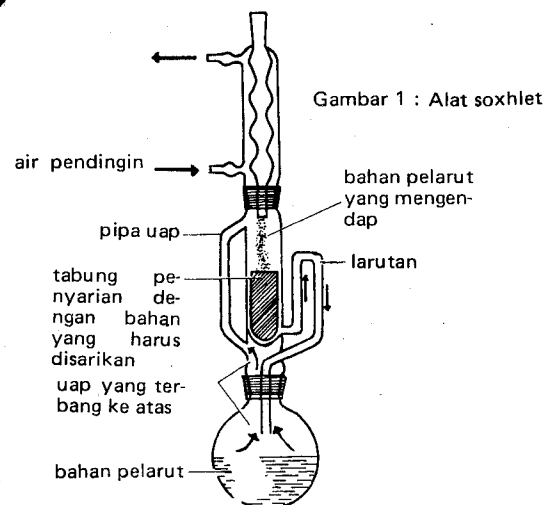
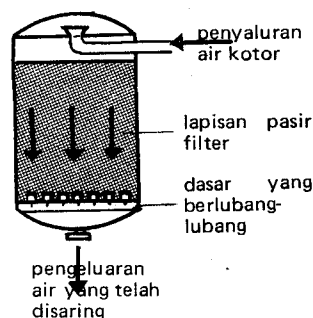
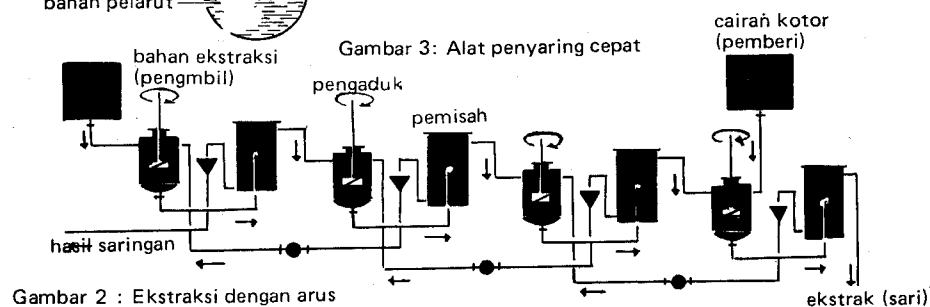
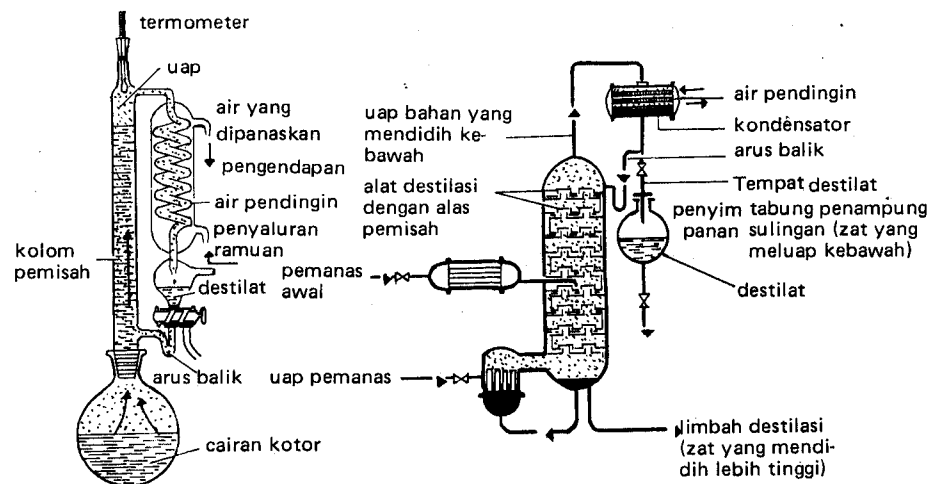
optis lainnya adalah misalnya *turbidimetri* dan *nephelometri*, ketika diukur sifat tembus cahaya atau penghamburan cahaya dari kekeruhan dalam larutan koloidal pada reaksi pengendapan, dan *fluorometri*, ketika diadakan pengukuran pendar fluor (fluoresensi) dari larutan atau endapan.

Pada *metode kromatografi* pemisahan suatu campuran bahan menjadi bagiannya masing-masing dicapai dengan membagi secara berulang suatu campuran bahan dalam lapisan batas yang agak besar antara dua fase yang digerakkan secara berlawanan lagi pula tidak dicampurkan. Fase pembantunya dapat berbentuk padat, cair atau gas. Gerakan untuk memisahkan bahan dari suatu fase adalah terarah, fase yang lain diam dan dicuci oleh fase yang digerakkan. Untuk melaksanakan kromatografi tersedia bentuk pelaksanaan yang sangat beranekaragam, kita bedakan *kromatografi-gas*, *kromatografi-kolom* dan *kromatografi-kertas*. Yang terakhir dapat dilakukan sebagai kromatografi-kertas naik, menurun atau horizontal (gambar 6).

Metode analisis spektral berdasarkan pada pemancaran dan penyerapan gelombang elektro magnet yang tampak dan tidak kelihatan oleh elemen dan persenyawaan tersendiri; dalam hal ini sebagai akibat dari perbedaan susunan atom atau ikatan kimia terjadi spektrum yang khas (gambar 7). Metode analisis spektral merupakan cara pembuktian yang paling peka dalam analisis kimia. Tergantung dari jangkauan gelombang yang digunakan dibedakan antara spektroskopi inframerah, spektroskopi ultraviolet dan spektroskopi Röntgen dan demikian pula spektroskopi frekuensi tinggi dengan ketiga jangkauan bagiannya spektroskopi gelombang mikro, spektroskopi resonasi inti dan spektroskopi resonasi elektron. Pengukuran panjang gelombang yang dipancarkan atau diserap dapat dilakukan secara langsung atau tidak langsung. Pengukuran secara langsung berdasarkan pada gejala pembiasan dan pembelokan (sinar) yang tergantung dari panjang gelombang, sedang pengukuran secara tidak langsung dilakukan dengan mengadakan perbandingan dengan spektrum yang sudah ditera. Dengan menggunakan metode spektroskopi dapat diperoleh keterangan (dalil) mengenai keadaan ikatan dari unsur yang ikut serta pada pembentukan suatu persenyawaan, terutama mengenai struktur dari persenyawaan organis.

34. Ekstraksi, Filtrasi, Destilasi

Ekstraksi, filtrasi dan destilasi merupakan tiga metode dasar untuk memisahkan campuran bahan. Ekstraksi (= penyarian) berdasarkan pada kenyataan, bahwa dari campuran bahan dengan menggunakan larutan (alat ekstraksi) bagian tertentu dilarutkan secara selektif, yang kemudian dapat dipisahkan dengan membuang larutannya. Tergantung dari apakah yang dihadapi itu campuran bahan padat atau cairan, diketahui ada *ekstraksi-padat-cair* dan *ekstraksi-cair-cair*. Metode ekstraksi terputus-putus yang sederhana berdasarkan pada kenyataan, bahwa larutannya dihubungkan dengan benda yang akan diekstraksi di dalam suatu tabung dan dalam hal ini efek ekstraksinya dipertinggi dengan mengocoknya atau mengaduknya atau mempertinggi suhunya (digoncang-goncang, direbus, dilarutkan/dileburkan). Pengintensifan proses ekstraksi dicapai dalam laboratorium dalam yang disebut *alat ekstraksi Sochlet* (gambar 1), tempat benda yang akan diekstraksi dicuci oleh arus cairan yang beredar terus-menerus. Dalam ukuran teknik ekstraksi itu diintensifkan dengan menggabungkan sebanyak mungkin tingkatan ekstraksi secara berturut-turut dan menangani benda yang diekstraksi itu dalam arah yang berlawanan dengan larutan. Suatu contoh untuk instalasi teknik adalah ekstraksi-dengan-arah-berlawanan secara berderet.

Pada *filtrasi* (= penyaringan) campuran bahan yang terdiri atas zat padat dan cair dipisahkan secara menaruhnya di atas suatu lapisan yang berlubang-lubang (berpori), yang hanya meloloskan cairan, menjadi bagian yang padat dan yang cair (*ampas/sisa filter* dan *filtratnya*). Tenaga fisika yang menggerakkan pada penyaringan adalah perbedaan tekanan antara sisi pemasukan dan sisi pembuangan pada filter yang ditimbulkan oleh berat kolom cairan yang terdapat di atas filter (saringan); perbedaan tersebut dapat diperkuat dengan penekanan pada sisi pemasukan atau menimbulkan tekanan rendah pada sisi pembuangan (*filtrasi dengan tekanan* atau *filtrasi dengan vakum*) atau juga dengan pemusingan (sentrifugali-

Gambar 4 : Alat penyulingan (destilasi) Gambar 5: Instalasi destilasi (penyulingan)

sasi). Zat padat dengan garis tengah yang lebih besar daripada pori bahan filter ditahan oleh *filtrasi pada permukaan* (kerja saringan); *filtrasi dalam* akan terjadi bilamana bagian zat padat yang lebih kecil tertahan pada dinding pori dan dengan mempersempit pori-porinya baru merupakan bahan filternya. Dalam laboratorium untuk penyaringan sederhana kebanyakan digunakan kertas filter yang diletakkan dalam corong dari gelas atau (untuk filtrasi vakum) filter yang terdiri atas gelas yang berpori. Kwarsa atau porselen (*corong porselen dengan filter, tabung filter dari keramik*). Sebagai bahan filter dalam teknik digunakan saringan atau tenunan (kasa) dari logam, benang alam dan tiruan, kertas, laken dan kulit, kemudian lapisan lepas dari kerikil, pasir, serbuk gergaji, asbes, dan sebagainya. Sebagai contoh untuk sebuah alat filter teknik dalam gambar 3 dilukiskan prinsip dari filter cepat yang digunakan untuk membersihkan air.

Destilasi (= penyulingan) adalah metode pemisahan dengan menggunakan panas (termal), yang berdasarkan kenyataan, bahwa suatu zat dapat disingkirkan/dipisahkan dari suatu campuran dengan penguapan dan kemudian diendapkan (dijadikan cairan kembali); dengan destilasi zat yang lebih mudah menguapnya. Bagian yang diperoleh dengan kondensasi (pengendapan) dinamakan *destilat*, bagian yang tidak menguap disebut *sisa destilasi*. Syarat untuk pemisahan dari zat dengan destilasi yang baik adalah, bahwa titik didih dari komponen itu cukup berjauhan letaknya; jika zat tersebut bertitik-didih yang sangat berdekatan (hampir sama), maka suatu pemisahan yang tepat dari komponen itu hanya mungkin dengan destilasi yang dilakukan berkali-kali atau dengan destilasi melalui suatu kolom pemisah (*kolom pembetulan = rektifikasi*). Campuran zat yang rumit-rumit kebanyakan diuraikan dalam destilat dengan batas didih tertentu (fraksi). Prinsip dari alat destilasi yang digunakan dalam laboratorium dilukiskan dalam gambar 4, prinsip instalasi destilasi yang digunakan dalam teknik dalam gambar 5.